

В33

Ф-24

№1



АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР

~ КЛАССИКИ НАУКИ ~



**EXPERIMENTAL RESEARCHES
IN ELECTRICITY**

BY

MICHAEL FARADAY, D.C.L., F.R.S



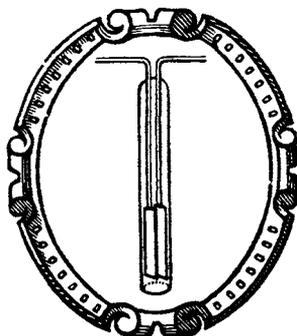
МИХАИЛ ФАРАДЕЙ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ
ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ

ТОМ I

ПЕРЕВОД С АНГЛИЙСКОГО

Е. А. ЧЕРНЫШЕВОЙ И Я. Р. ШМИДТ-ЧЕРНЫШЕВОЙ

КОММЕНТАРИИ И РЕДАКЦИЯ
ЧЛЕНА-КОРРЕСПОНДЕНТА АКАДЕМИИ НАУК СССР
ПРОФ. Т. П. КРАВЦА



ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

1947

**Под общей редакцией Комиссии Академии Наук СССР
по изданию научно-популярной литературы**

**Председатель Комиссии президент Академии Наук СССР
академик *С. И. ВАВИЛОВ***

**Зам. председателя член-корреспондент Академии Наук СССР
*П. Ф. ЮДИН***



ПРЕДИСЛОВИЕ



Различные обстоятельства побудили меня собрать в один том те четырнадцать серий «Экспериментальных исследований по электричеству», которые появились в *Philosophical Transactions* в течение последних семи лет; главной причиной было желание предоставить возможность приобрести за умеренную цену полное собрание этих докладов, снабженное указателем, — тем, кто пожелал бы их иметь.

Я надеюсь, что читатели этого тома примут во внимание, что он не был написан как нечто целое, но создавался по частям; более ранние части в момент их написания редко имели определенную связь с теми частями, которые могли за ними последовать. Если бы я написал этот труд заново, то, вероятно, значительно изменил бы форму, но навряд ли изменил бы многое по существу; тогда, однако, его нельзя было бы рассматривать как верное воспроизведение или отчет о ходе и результатах всего исследования, а я хотел дать только это.

Да будет мне позволено выразить мое глубокое удовлетворение тем, что различные части, написанные с перерывами на протяжении семи лет, оказались столь согласующимися друг с другом. В этом не было бы ничего особенного, если бы факты, к которым эти части имеют отношение, были хорошо известны до написания каждой из них; но так как каждая часть претендует на то, что содержит какие-либо оригинальные открытия

или исправление общепринятых взглядов, то даже я, при всем моем возможном пристрастии, удивлен тем, в какой степени они, на мой взгляд, оказываются взаимно согласующимися и вообще точными. Я сделал некоторые изменения в тексте, но лишь типографского или грамматического характера; если иногда допущены большие исправления, то только с целью уяснения смысла, но не изменения его. Я часто добавлял примечания в сносках, как, например, в параграфах 59, 360, 439, 521, 552, 555, 598, 657, 883, — как для исправления ошибок, так и с целью пояснения, но все они, в отличие от оригинальных примечаний «Исследований», отмечены датой: «Дек. 1838 г.».

Дата научного доклада, претендующего на какое-либо открытие, часто представляет предмет большой важности, и очень жаль, что в отношении многих весьма ценных сообщений, существенных для истории и развития науки, на этот вопрос сейчас нельзя дать точного ответа. Это происходит и оттого, что доклады не снабжены индивидуальными датами, и оттого, что журналы, в которых они появляются, датированы неправильно, а именно — более ранними датами, чем они выпущены в свет. Чтобы дать иллюстрацию той путаницы, которая может отсюда возникнуть, я могу сослаться на примечание в конце первой серии. Эти обстоятельства побудили меня поместить вверху страницы дату текста (через одну страницу); я считал себя вправе пользоваться датами, указанными секретарем королевского общества на каждом отдельном докладе при его поступлении. Автор вряд ли имеет право претендовать на более раннюю дату, если она не засвидетельствована каким-либо официальным документом или лицом.

Прежде чем закончить эти строки, я попросил бы разрешения сделать одну или две ссылки: во-первых, на мои собственные доклады об электромагнитных вращениях в *Quarterly Journal of Science*, 1822, XII, 74, 186, 283, 416, а также на мое письмо о магнито-электрической индукции в *Annales de Chimie*, LI, стр. 404. По существу, эти доклады могли бы с полным правом появиться в этом томе, но тогда они нарушили бы его общий характер

как простой перепечатки «Экспериментальных исследований» в *Philosophical Transactions*.

Затем, в связи с четвертой серией, посвященной новому закону электрической проводимости, я хочу сослаться на опыты Франклина по непроводимости льда, которые были соответствующим образом расчленены и изложены профессором Бэчем (*Bache. Journal of the Franklin Institute, 1836, XVII, 183*). Этих опытов, которых я совсем не помнил, поскольку дело касается размеров действия, никогда не следует забывать, говоря об этом законе применительно к случаю воды, хотя они никоим образом не превосхищают формулировки даваемого мной закона относительно общего действия плавления на электролиты.

Имеются две статьи, которые я обязательно должен упомянуть как содержащие поправки и критические замечания к отдельным частям «Экспериментальных исследований». Первой из них является доклад Якоби (*Jacobi*) (*Philosophical Magazine, 1838, XIII, 40*) относительно возможности получать искру при соединении двух металлов всего одной парой пластин (915). Это прекрасная статья, и хотя я не повторял этих опытов, но описание их приводит меня к убеждению, что я, вероятно, ошибся. Вторая принадлежит прекрасному физику Марианини (*Marianini, Memorie della Societá Italiana di Modena, XXI, 205*) и представляет собой критику и экспериментальную поверку восьмой серии и вопроса о том, *создается* или не создается часть электричества гальванического элемента металлическим контактом. Я и теперь не вижу оснований менять высказанное мной мнение, но доклад является настолько ценным, столь непосредственно подходит к вопросу, который сам по себе чрезвычайно важен, что я намерен при первом удобном случае возобновить исследование и, если удастся, получить бесспорные для всех доказательства в ту или иную сторону.

Другие части настоящих исследований также удостоились чести критического внимания различных ученых; всем им я весьма обязан; некоторые из их поправок я указал в подстрочных примечаниях. В других случаях я не почувствовал силы

этих замечаний: время и прогресс науки наилучшим образом решат вопрос. Я не могу, положа руку на сердце, сказать: я желал бы, чтобы обнаружилось, что я ошибался. Но я горячо верю, что развитие науки в руках ее многочисленных и ревностных современных исследователей даст такие новые открытия и такие общеприложимые законы, что оно и меня заставит думать, что все то, что написано и разъяснено в настоящих «Экспериментальных исследованиях», принадлежит к уже пройденным этапам науки.

*Королевский институт.
Март 1839 г.*

Михаил Фарадей.

П Е Р В А Я С Е Р И Я

Раздел 1. Об индукции электрических токов. Раздел 2. Об образовании электричества из магнетизма. Раздел 3. О новом электрическом состоянии материи. Раздел 4. Объяснение магнитных явлений Араго.

Доложено 24 ноября 1831 г.

1. Присущее электричеству напряжения свойство создавать вблизи себя противоположное электрическое состояние получило общее название индукции. Поскольку оно вошло в научный язык, названием этим можно с полным основанием пользоваться в таком же общем смысле и в том случае, если бы электрические токи оказались способными переводить находящуюся в непосредственной близости от них материю в некоторое особое состояние, которое до того было безразличным. В этом именно смысле я и предполагаю употреблять этот термин в настоящем докладе.

2. Целый ряд действий, вызываемых индукцией электрических токов, был найден и описан ранее, как то: намагничивание, опыты Ампера с поднесением медного диска к плоской спирали, повторение им при помощи электромагнитов замечательных опытов Араго и, может быть, кое-какие другие. Однако казалось невероятным, чтобы этим исчерпывались все действия, которые может производить индукция токов, тем более, что в отсутствии железа почти все эти явления отпадают, тогда как имеется бесчисленное множество тел, обнаруживающих определенные явления индукции от электричества напряжения, и тела эти до сих пор еще не были подвергнуты действию индукции от электричества в движении.

3. Далее: прием ли мы прекрасную теорию Ампера или какую-либо другую, или мысленно откажемся от теорий, все же представляется весьма необычайным, чтобы, с одной стороны, всякий электрический ток сопровождался магнитным действием соответствующей интенсивности, направленным под прямым углом к току, и чтобы в то же время в хороших проводниках электричества, помещенных в сферу этого действия, совсем не индуцировался ток, не возникало какое-либо осязаемое действие, эквивалентное по силе такому току.

4. Эти рассуждения и вытекающая из них как следствие надежда получить электричество при помощи обыкновенного магнетизма в разные времена побуждали меня экспериментально изучить индуктивное действие электрических токов. Недавно я добился положительных результатов, и при этом не только оправдались мои надежды, но я получил в руки ключ, который, как мне кажется, открывает дверь к полному объяснению магнитных явлений Араго, а также к открытию некоторого нового состояния, которое, быть может, играет большую роль в некоторых наиболее важных действиях электрических токов.

5. Эти результаты я предполагаю описать не в том порядке, в каком они были получены, а таким образом, чтобы дать наиболее сжатое образование их в целом.

РАЗДЕЛ 1

Об индукции электрических токов

6. Около двадцати шести футов медной проволоки диаметром в одну двадцатую дюйма было намотано на деревянный цилиндр в виде спирали; отдельные витки спирали предохранялись от касания проложенным между ними тонким шнурком. Эта спираль была покрыта коленкором, а затем таким же способом была навита вторая проволока. Этим путем были навиты одна на другую двенадцать спиралей, длиной в среднем по двадцать семь футов

проводами каждая, и все в одном направлении. Первая, третья, пятая, седьмая, девятая и одиннадцатая спирали были соединены конец с концом так, что образовали одну общую катушку; остальные были соединены таким же способом; таким образом получились две основные, тесно переплетенные друг с другом спирали, имеющие одинаковое направление, нигде не соприкасающиеся и содержащие каждая по сто пятьдесят пять футов проволоки

7. Одна из этих спиралей была соединена с гальванометром, другая — с хорошо заряженной гальванической батареей из десяти пар пластин в четыре квадратных дюйма каждая, причем медные пластины были двойные; однако не удалось наблюдать ни малейшего отклонения стрелки гальванометра.

8. Была изготовлена подобная же составная катушка, состоящая из шести отрезков медной проволоки и шести отрезков проволоки из мягкого железа. Полученная таким образом железная катушка содержала двести четырнадцать футов проволоки, а медная — двести восемь; однако, независимо от того, как проходил ток от батареи: через медную или через железную катушку, — гальванометром не удавалось обнаружить никакого действия на другую катушку.

9. В этих, как и многих подобных опытах, между железом и другими металлами не было обнаружено никакой разницы в действии.

10. Двести три фута медной проволоки в одном куске были намотаны на большой деревянный барабан; другие двести три фута такой же проволоки были проложены в виде спирали между витками первой обмотки, причем металлический контакт был везде устранен посредством шнура. Одна из этих спиралей была соединена с гальванометром, а другая — с хорошо заряженной батареей из ста пар пластин в четыре квадратных дюйма с двойными медными пластинами. При замыкании контакта наблюдалось внезапное, но очень слабое действие на гальванометр, и подобное же слабое действие имело место при размыкании контакта с батареей. Но в дальнейшем, при прохожде-

нии гальванического тока по одной из спиралей, не удавалось обнаружить отклонения гальванометра или иного действия на вторую спираль, похожего на индукцию, хотя мощность батареи и была явно велика, о чем можно было судить по нагреванию всей присоединенной к ней спирали и по яркости разряда, если он пропускался через древесный уголь.

11. Повторение опытов с батареями из ста двадцати пар пластин не производило других действий; но в этом, как и в предыдущем случае, было установлено, что незначительное отклонение стрелки, получающееся в момент замыкания контакта, всегда имело одно и то же направление, и что подобное ему слабое отклонение, вызываемое размыканием контакта, было направлено в обратную сторону, и далее, что эти действия наблюдались и с прежними катушками (6, 8).¹

12. Результаты, которые к этому времени были мною получены с магнитами, привели меня к мысли, что ток от батареи при пропускании его через один проводник действительно индуцирует подобный же ток в другом проводнике, но что этот ток длится всего один момент и по природе своей походит скорее на электрическую волну, возникающую при разряде обыкновенной лейденской банки, чем на ток от гальванической батареи, и что поэтому, он, быть может, окажется в состоянии намагнитить стальную иглу, хотя на гальванометр действует едва-едва.

13. Это предположение подтвердилось: действительно, когда я, заменив гальванометр небольшой полый спиралью, намотанной на стеклянную трубку, ввел внутрь ее стальную иглу, соединил батарею, как и ранее, с индуцирующим проводом и затем вынул иглу еще до момента размыкания контакта с батареей, то она оказалась намагнитенной.

14. Если сначала включить батарею, и уже после этого ввести во внутрь служившей для наблюдения небольшой спира-

¹ В дальнейшем цифры в скобках, как и у Фарадея, означают *параграфы* его текста (сокращенное обозначение — п.). — *Ред.*

ли (13) ненамагниченную иглу и, наконец, разомкнуть контакт с батареей, то игла оказывается намагниченной и, повидимому, в такой же степени, как и раньше, но полюсы оказываются противоположного знака.

15. Такие же действия имели место при опытах с описанными (6, 8) большими составными спиралями.

16. Если ненамагниченная игла вводилась внутрь испытательной спирали раньше, чем был соединен с батареей индукрующий провод, и оставалась там до момента размыкания контакта, то она совсем не обнаруживала магнетизма или обнаруживала его лишь в слабой степени; в этом случае первое действие было почти целиком нейтрализовано вторым (13, 14). Сила действия тока, индуцируемого при замыкании контакта, оказывалась всегда больше той, которая индуцировалась при размыкании контакта; поэтому, когда контакт замыкался и размыкался много раз подряд, причем игла оставалась внутри испытательной спирали, то она в конце концов оказывалась обладающей некоторым намагничением, но намагничивалась таким образом, как будто на нее действовал один только ток, индуцированный при замыкании контакта. Это действие может объясняться так называемой аккумуляцией на полюсах разомкнутой батареи; вследствие этой аккумуляции ток при первоначальном замыкании контакта оказывается более сильным, чем впоследствии при размыкании его.

17. Если цепь между спиралью или подвергаемым индукции проводом и гальванометром, или испытательной спиралью (13) не была замкнута перед тем, как замыкалось или размыкалось соединение между батареей и индукующим проводом, то нельзя обнаружить никакого действия на гальванометр. Таким образом, если сначала сделать соединения в цепи батареи, а затем соединить подвергаемый индукции провод с испытательной (13) спиралью, то намагничивающая способность не проявляется. Но если теперь сохранить эти соединения и размыкать соединения батареи, то в спирали образуется магнит, но второго рода (14), т. е. с полюсами, указывающими на существование

тока того же направления, что и ток батареи, или тока, который всегда индуцируется при прекращении тока батареи.

18. В предыдущих опытах провода были расположены близко друг от друга, и контакт индуцирующего провода присоединялся к батарее на то время, когда требовалось иметь индукционное действие. Но так как можно было бы предполагать, что это особое действие проявляется только в моменты замыкания и размыкания контакта, то я производил индукцию и другим путем. Несколько футов медного провода были натянуты большими зигзагами, в виде буквы W, на поверхности широкой доски; второй провод был натянут точно такими же зигзагами на второй доске, так что, при поднесении ее к первой, провода коснулись бы друг друга на всем протяжении, если бы между ними не был проложен лист толстой бумаги. Один из этих проводов был соединен с гальванометром, а другой — с гальванической батареей. Затем первый провод перемещался по направлению ко второму, и во время его приближения стрелка отклонялась. Во время удаления провода стрелка отклонялась в противоположном направлении. Если заставлять провода сближаться, а затем удаляться друг от друга в такт с колебаниями стрелки, последние скоро становились весьма значительными; однако по прекращении движения проводов по направлению друг к другу или друг от друга, стрелка гальванометра в скором времени возвращалась в свое обычное положение.

19. При сближении проводов индуцированный ток имел направление, обратное направлению индуцирующего тока. При удалении друг от друга проводов индуцированный ток имел то же направление, что и индуцирующий ток (54). Когда провода оставались неподвижными, индуцированного тока не было вовсе.

20. Когда в цепь между гальванометром и его спиралью или проводом вводилась небольшая гальваническая установка таким образом, чтобы создалось постоянное отклонение стрелки в 30° или 40° , а затем индуцирующий провод соединялся с батареей из ста пар пластин, то, как и ранее, имело место мгновен-

ное действие (11); однако стрелка гальванометра немедленно возвращалась обратно и неизменно сохраняла свое положение, несмотря на продолжающийся контакт между индуцирующим проводом и батареей. Это явление происходит независимо от того, каким способом производился контакт (33).

21. Отсюда, повидимому, следует, что расположенные рядом токи — как одинакового, так и противоположного направления — не обнаруживают способности оказывать друг на друга непрерывное индуцирующее действие, могущее сказаться на их величине или же на их напряжении.

22. Мне не удалось убедиться в прохождении электричества через подвергаемый индукции проводник ни с помощью ощущения на язык, ни посредством искры, ни путем нагревания тонкой проволоки или древесного угля; равным образом я не мог получить никаких химических действий, хотя контакты с растворами металлических и других солей замыкались и размыкались с контактами батареи попеременно, так что второе действие индукции не должно было бы ни противодействовать первому, ни нейтрализовать его (13, 16).

23. Такое отсутствие действия обусловлено отнюдь не тем, что индуцированный ток электричества не может проходить через жидкости, а, вероятно, его малой продолжительностью и слабой интенсивностью, ибо при введении в цепь на индуцируемой стороне (20) двух больших медных пластин, погруженных в раствор поваренной соли и предохраняемых от соприкосновения проложенной между ними материей, действие на регистрирующий гальванометр или же на испытательную спираль имело место, как и ранее. Индуцируемое электричество проходило также через гальванический элемент (20). Когда, однако, количество промежуточной жидкости было уменьшено до капли, то гальванометр не давал показаний.

24. Попытки получить аналогичные явления при употреблении проводов, несущих обыкновенное электричество, оказались по своим результатам сомнительными. Была взята составная спираль, сходная с уже описанной и содержащая восемь эле-

ментарных спиралей (6). Подобные концы четырех спиралей были связаны друг с другом проболокой, и полученные таким образом два главных конца были соединены с небольшой намагничивающей спиралью, заключающей в себе ненамагниченную иглу (13). Остальные четыре спирали были устроены таким же образом, но концы их были соединены с лейденской банкой. При пропускании разряда игла становилась магнитом; однако было не лишено вероятности, что часть электричества из лейденской банки прошла в маленькую спираль и таким образом намагнитила иглу. В самом деле, не было оснований ожидать, чтобы электричество от лейденской банки, обладающее, как известно, высоким напряжением, не распространялось через все металлические части, находящиеся между изолирующими прокладками.

25. Однако же отсюда не следует, что разряд обыкновенного электричества через провод не вызывает явлений, аналогичных тем, которые создаются гальваническим электричеством; но так как представляется невозможным отделить действия, производимые в момент начала разряда, от равных им, но противоположных действий, производимых при его исчезновении (16), поскольку для обыкновенного электричества эти моменты совпадают, трудно надеяться, чтобы подобного рода опытами можно было эти явления обнаружить.

26. Таким образом очевидно, что токи гальванического электричества обнаруживают явления индукции, до некоторой степени аналогичные явлениям, создаваемым электричеством напряжения, хотя, как будет видно далее, между ними существует много различий. Следствием этого является создание других токов (которые однако только мгновенны), параллельных или же обнаруживающих стремление быть параллельными индуцирующему току. По расположению полюсов иглы, возникающему в испытательной спирали (13, 14), и из отклонений стрелки гальванометра во всех случаях было ясно, что индуцируемый ток, производимый первым действием индуцирующего тока, был по направлению противоположен последнему, а ток, произ-

водимый прекращением индуцирующего тока, имел одинаковое с ним направление (19). Для краткости, я предлагаю называть это действие тока от гальванической батареи *вольта-электрической индукцией*. Свойства вторичного провода, когда индукция уже произвела первый ток и когда в соседнем индуцирующем проводе еще продолжает течь электричество от батареи (10, 13), доказывают существование особого электрического состояния, к рассмотрению которого мы вернемся далее (60). Все эти результаты были получены с вольтовым прибором, состоявшим из одной пары пластин.

РАЗДЕЛ 2

Об образовании электричества из магнетизма

27. Из круглого брускового мягкого железа было сварено кольцо; толщина металла была равна семи восьмым дюйма, а наружный диаметр кольца — шести дюймам. На одну часть этого кольца было намотано три спирали, содержавшие каждая около двадцати четырех футов медной проволоки, толщиной в одну двадцатую дюйма. Спирали были изолированы от железа и друг от друга и наложены одна на другую описанным выше способом (6), занимая приблизительно девять дюймов по длине кольца. Ими можно было пользоваться по отдельности и в соединении; эта группа обозначена буквой *A* (рис. 1). На другую часть кольца было намотано таким же способом около шестидесяти футов такой же медной проволоки в двух кусках, образовавших спираль *B*, которая имела одинаковое направление со спиралями *A*, но была отделена от них на каждом конце на протяжении приблизительно полдюйма голым железом.

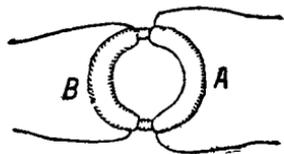


Рис. 1.

28. Спираль *B* соединялась медными проводами с гальванометром, помещенным на расстоянии трех футов от кольца. От-

дельные спирали *A* соединялись конец с концом так, что образовали общую спираль, концы которой были соединены с батареей из десяти пар пластин в четыре квадратных дюйма. Гальванометр реагировал немедленно, и притом значительно сильнее, чем это наблюдалось, как описано выше, при пользовании в десять раз более мощной спиралью *без железа* (10); однако, несмотря на сохранение контакта, действие прекращалось, и стрелка вскоре возвращалась в свое нормальное положение, обнаруживая как бы полное безразличие по отношению к связанной с ней электромагнитной схеме. При размыкании контакта с батареей стрелка снова сильно отклонялась, но в направлении, противоположном тому, которое индуцировалось в первом случае.

29. При таком видоизменении прибора, когда спираль *B* была включена, а гальванометр был присоединен к одному из трех проводов *A* (27), а два остальные были соединены в одну спираль, через которую проходил ток от батареи (28), действия получались подобные же, но значительно более сильные.

30. Когда соединение с батареей производилось в одном определенном направлении, стрелка гальванометра отклонялась в одну сторону; при обратном направлении соединений, отклонение происходило в противоположную сторону. Отклонение при размыкании контакта батареи было всегда противоположно отклонению, получаемому при замыкании. Отклонение при замыкании контакта батареи всегда указывало на существование индуцированного тока, по направлению противоположного току батареи; при размыкании же контакта, отклонение указывало на ток, индуцированный в направлении, совпадающем с направлением тока батареи. Ни замыкание, ни размыкание контакта на стороне *B* или в каком-либо месте цепи гальванометра не оказывало никакого действия на последний. Дальнейшее существование тока от батареи не вызывало никакого отклонения стрелки гальванометра. Поскольку приведенные выше результаты одинаковы для всех этих и подобных им опытов с обыкновенными магнитами, подробно рассматриваемых далее, нет необходимости снова их особо описывать;

31. Когда я пользовался для упомянутого выше кольца силой ста пар пластин (10), толчок, сообщаемый гальванометру при замыкании и размыкании контакта, был настолько велик, что стрелка начинала вращаться и делала четыре или пять оборотов; прежде чем трение воздуха и земной магнетизм сводили ее движение к простым колебаниям.

32. При поднесении к концам спирали *B* древесного угля можно было обнаружить *искорку* при замыкании контакта с батареей в цепи *A*. Эта искорка не могла быть вызвана ответвлением части тока от батареи через железо в спираль *B*, так как при сохранении контакта с батареей гальванометр, тем не менее, возвращался к своему совершенно безразличному состоянию (28). При размыкании контакта искра наблюдалась редко. Платиновую проволочку раскалить этим индуцированным током не удавалось; однако есть, повидимому, все основания думать, что это действие можно было бы получить при пользовании более сильным начальным током или более мощной комбинацией спиралей.

33. Через спираль *B* и гальванометр был пропущен слабый гальванический ток таким образом, чтобы стрелка отклонилась на 30 или 40°; после этого к цепи *A* была присоединена батарея из ста пар пластин; однако по прекращении первого действия стрелка гальванометра возвращалась в положение, строго соответствующее тому слабому току, который проходил по цепи самого гальванометра. Это имеет место независимо от того, каким путем осуществлять соединение с батареей, и указывает, что и в этом случае (20) не существует постоянного влияния токов друг на друга ни в отношении их величины, ни в отношении их напряжения.

34. Затем было испытано другое устройство, связывающее первые опыты по вольта-электрической индукции (6—26) с настоящими. Система спиралей, подобная вышеописанной (6), была навита на полый картонный цилиндр; спирали состояли из восьми отрезков медной проволоки, общей длиной в 220 футов; четыре из этих спиралей были соединены концы с концом,

а затем с гальванометром; остальные четыре были также соединены конец с концом, и через них разряжалась батарея из ста пар. При таких условиях действие на гальванометр было едва ощутимым (11), хотя индуцированный ток обладал намагничивающей способностью (13). Однако, когда внутрь картонной трубки, окруженной спиралями, вводился цилиндр из мягкого железа, толщиной в семь восьмых дюйма и длиной в двенадцать дюймов, индуцированный ток оказывал на гальванометр очень сильное действие, сопровождающееся всеми вышеописанными явлениями (30). Намагничивающая способность, которой он обладал, была, повидимому, также выше, чем в отсутствие железного цилиндра.

35. Когда железный цилиндр заменялся таким же точно медным цилиндром, то не получалось никакого действия помимо того, какое имело место при наличии одних только спиралей. Устройство с железным цилиндром оказалось менее сильным, чем вышеописанное устройство с кольцом (27).

36. Подобные действия были затем получены при помощи обыкновенных магнитов: так, все элементарные спирали только что описанной полой спирали (34) были соединены с гальванометром посредством двух медных проводов, длиной по пять футов каждый; во внутрь спирали, по ее оси, был введен цилиндр из мягкого железа; два полосовых магнита, длиной по двадцать четыре дюйма каждый, были приложены друг к другу разноименными полюсами, так что давали подобие подковообразного магнита; другие два полюса прикладывались к концам железного цилиндра так, что он временно превращался в магнит (рис. 2); при размыкании магнитных контактов или при изменении их на обратные намагничение железного цилиндра можно было по желанию прекращать или изменять на противоположное.

37. В момент образования магнитного контакта стрелка отклонялась; при продолжительном контакте стрелка становилась безразличной и возвращалась в свое первоначальное положение; при нарушении контакта она снова отклонялась, но в направлении, противоположном первому, а затем опять становилась

безразличной. При обращении магнитных контактов, отклонения стрелки также обращались.

38. При образовании магнитного контакта отклонение стрелки было таково, что указывало на ток электричества, индуцированный в направлении, обратном тому, которое способно образовывать магнит той же полярности, какой получался в действитель-

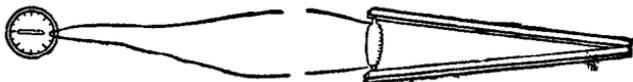


Рис. 2.

ности при соприкосновении с полосовыми магнитами. Так, когда полюс с меткой и полюс без метки были расположены, как изображено на рис. 3, ток в спирали проходил в указанном на рисунке направлении, где *P* есть конец провода, идущего к положительному полюсу батареи, т. е. тот конец, к которому обращены цинковые пластины, а *N* — отрицательный провод. Такой ток намагнитил бы цилиндр в противоположном направлении по сравнению с магнитом, который образуется при соприкосновении с полюсами *A* и *B*; а такой ток направлен противоположно токам, которые, согласно прекрасной теории Ампера, образуют такой магнит, какой изображен на рисунке.¹

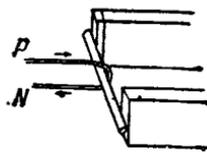


Рис. 3.

39. Однако, поскольку можно было бы предположить, что во всех предыдущих опытах, описанных в этой главе, мгновенный индуцированный ток возбуждался благодаря некоторому осо-

¹ Для большинства запоминание относительного расположения электрического тока и (образуемого им) магнита сопряжено с большими трудностями, ввиду чего Ампером и другими предложены три-четыре мнемонических правила. Я беру на себя смелость указать на следующее правило, как на чрезвычайно простое, оказывающее существенную помощь в наших и близких к ним широтах. Пусть наблюдатель вообразит себя смотрящим

бому действию, имевшему место во время образования магнита, а не благодаря самому факту его приближения, то был произведен следующий опыт. Все тождественные концы составной полый спирали (34) были соединены вместе медной проволокой, и образованные таким образом два главных вывода были связаны с гальванометром. Цилиндр из мягкого железа (34) был заменен цилиндрическим магнитом в три четверти дюйма диаметром и в восемь с половиной дюймов длиной. Один конец этого магнита был введен внутрь спирали по ее оси (рис. 4), а затем, после того как стрелка гальванометра успокоилась, магнит был быстро

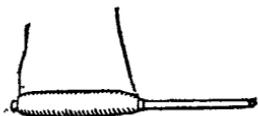


Рис. 4.

вдвинут внутрь спирали; стрелка немедленно отклонялась в таком направлении, как если бы магнит был образован посредством одного из двух предыдущих процессов (34, 36). При оставлении магнита внутри стрелка возвращалась в свое первоначальное

положение, а при вытаскивании его отклонялась в противоположном направлении. Действия эти не были особенно сильны; однако, вдвигая и выдвигая магнит таким образом, чтобы каждый последующий толчок прибавлялся к произведенным уже ранее, удавалось сообщить стрелке колебания размахом в 180° и более.

40. В этом опыте не следует продвигать магнит сквозь спираль до конца, так как тогда возникает еще другое действие. При

сверху вниз на магнитную стрелку наклона или на полюс земли и затем представит себе направление вращения часовой стрелки или правого винта; токи, циркулирующие вокруг стрелки в этом направлении, превратили бы ее в магнит, подобный стрелке наклона, или сами представляли бы собой электромагнит, обладающий аналогичными свойствами; будучи поднесены близко к магниту, они стремились бы привести его в это положение; или же сами приняли бы это положение под действием расположенного таким образом магнита, а согласно теории Ампера, они считаются движущимися внутри магнита в этом направлении. Если запомнить эти два обстоятельства, положение стрелки наклона и движение часовой стрелки, то отсюда уже нетрудно вывести любое другое соотношение между током и магнитом.

вдвигании магнита стрелка гальванометра отклоняется в определенном направлении, но когда магнит уже находится внутри спирали, то как при продвижении его полностью через нее, так и при обратном его выдвигании стрелка отклоняется в направлении, обратном предыдущему. Если магнит вдвинуть в спираль и пронести через нее одним непрерывным движением, то стрелка смещается в одну сторону, затем внезапно останавливается, и, наконец, начинает двигаться в обратную сторону.

41. Если полуую спираль, вроде той, которая описана выше (34), расположить с востока на запад (или ином неизменном направлении) и магнит удерживать в направлении с востока на запад, причем так, чтобы его полюс с меткой всегда был обращен в одну и ту же сторону, то независимо от того, с какого конца спирали вводится магнит, и, значит, независимо от того, какой полюс вдвигается первым, стрелка отклоняется всегда одинаковым образом; с другой стороны, какого направления ни держаться, вынимая магнит, отклонение опять-таки получается одно и то же, но противоположное тому, которое получается при вдвигании магнита в спираль.

42. Эти действия являются простыми следствиями закона, описываемого ниже (114).

43. Если составить из восьми элементарных спиралей одну длинную спираль, действие оказывается не таким сильным, как при описанном устройстве. Если брать только одну из восьми спиралей, действие тоже сильно ослабевает. Были приняты все меры для предохранения гальванометра от непосредственного действия на него индуцирующего магнита, и было обнаружено, что перемещение магнита в прежнем направлении и на прежнее расстояние, но с наружной стороны спирали, не оказывало никакого действия на стрелку.

44. В распоряжении Королевского Общества имеется принадлежавший ранее д-ру Говину Найту (Gowin Knight), большой составной магнит, который с разрешения президента и совета (Общества) был предоставлен в мое пользование для производства этих опытов; магнит находится в настоящее время

на попечении г-на Кристи (Christie) в его доме в Ууличе (Woolwich), где я, благодаря любезности г-на Кристи, получил возможность работать; и я весьма ему обязан за помощь во всех опытах и наблюдениях, произведенных с этим магнитом. Магнит этот состоит из полосовых магнитов, числом около 450, каждый длиной в пятнадцать дюймов, шириной в один дюйм и толщиной в полдюйма; они уложены в ящике так, что образуют на одном из его концов два внешних полюса (рис. 5). Эти полюсы выступают горизонтально на шесть дюймов из ящика и имеют каждый двенадцать дюймов в высоту и три дюйма в ширину. Они отстоят друг от друга на девять дюймов, и если положить цилиндр из мягкого железа в три четверти дюйма диаметром и в двенадцать

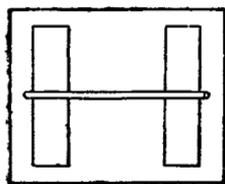


Рис. 5.

дюймов длиной поперек от одного к другому, то на то, чтобы разорвать контакт, требуется усилие около ста фунтов. Левый полюс на рисунке был с меткой.¹

45. Во всех опытах, произведенных с этим магнитом, гальванометр находился от него на расстоянии около восьми футов, и не прямо против полюсов, а примерно под углом в 16—17° в сторону. Было най-

дено, что соединение полюсов куском мягкого железа, равно как и нарушение такого соединения, оказывало на прибор некоторое слабое действие; однако всякая могущая произойти от этого ошибка легко и тщательно устранялась.

46. Магнит этот обнаруживал поразительные электрические действия. Если продеть сквозь вышеупомянутую составную полу спираль цилиндр из мягкого железа длиной в 13 дюймов, концы спиралей соединить в выводы (39), присоединить послед-

¹ Во избежание недоразумений в отношении полюсов магнита, тот полюс, который указывает на север, я буду называть полюсом с меткой; если бы я стал при случае говорить о северном и южном концах стрелки, то под этим я не подразумеваю северный и южный полюсы. Многие считают за истинный северный полюс стрелки тот, который указывает на юг; однако у нас в Англии этот полюс часто называют южным.

ние к гальванометру, а железный цилиндр привести в соприкосновение с двумя полюсами магнита, то получается такой сильный толчок электричества, что стрелка делает подряд много оборотов.¹

47. Несмотря на такую большую силу, стрелка при продолжении контакта возвращалась в свое естественное положение, совершенно независимо от расположения спирали (30). При разрыве магнитного контакта стрелка начинала вращаться в противоположном направлении с той же силой, что и в предыдущем случае.

48. Кусок медного листа был обернут *один раз* вокруг того же железного цилиндра наподобие втулки, внутри которой для предохранения от контакта была проложена бумага, и края листа были соединены с проводами гальванометра. В момент приложения к полюсам железа гальванометр обнаруживал сильное действие.

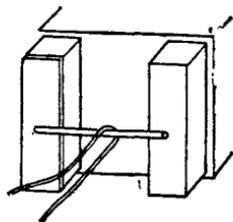


Рис. 6.

49. Вместо спиралей и втулок через железный цилиндр был перекинут провод гальванометра, так что образовалась всего одна половина витка (рис. 6); однако, даже и в этом случае при замыкании или размыкании магнитного контакта обнаруживалось сильное действие на стрелку.

50. При поднесении спирали с железным цилиндром к магнитным полюсам, но *не до соприкосновения с ними*, все же получались сильные действия. Всякий раз, как спираль без железного цилиндра, т. е. не содержащая никакого металла, кроме меди, была приближаема к полюсам или помещалась между ними (44), стрелка отклонялась на 80—90° или более от своего естественного положения. Индуктивная сила оказывалась, конечно, тем больше, чем ближе к полюсам подносилась спираль, все равно

¹ Стержень из мягкого железа в форме якоря от подковообразного магнита, снабженный такого рода катушкой, намотанной вокруг его середины, при соприкосновении с магнитом становится источником кратковременного, но определенного тока электричества.

с железным цилиндром или без него; но в других отношениях, независимо от того, приводилась ли спираль в соприкосновение с магнитом или нет, явления получались одни и те же, а именно: постоянного действия на гальванометр не было, действия же при приближении и удалении спирали были друг другу противоположные (30).

51. Если вместо железного цилиндра вводился медный стержень, действие, вызываемое спиралью, было не больше, чем в отсутствии стержня. Но при замене последнего толстой железной проволокой, магнито-электрическая индукция значительно усиливалась.

52. Во всех этих опытах со спиралью направление получаемого тока было таково же, как описанное выше (38) и получавшееся с более слабыми полосовыми магнитами.

53. Если спираль, содержащую четырнадцать футов медной проволоки, соединить с гальванометром и приближать прямо к полюсу с меткой по линии ее оси, то она оказывала сильное действие на прибор; индуцированный к ней ток был противоположен току, существующему в магните согласно теории Ампера (38), или же току в электромагните той же полярности. При удалении спирали индуцированный ток менял свое направление на противоположное.

54. Через такую же спираль был пропущен ток от восьми-десяти пар 4-дюймовых пластин так, что получался электромагнит, а затем к ней была приближена другая спираль, соединенная с гальванометром (5); стрелка тогда начинала колебаться, указывая на присутствие в спирали гальванометра тока, противоположного току в соединенной с батареей спирали (18, 26). При удалении этой последней стрелка отклонялась в противоположном направлении.

55. Индуцировались токи в одиночных проводках, приближаемых в некоторых определенных направлениях к магнитному полюсу. При удалении проводников направление токов менялось на противоположное. В подобного рода опытах провода не следует удалять в направлениях, отличных от тех,

по которым они приближались, иначе могут возникнуть запутанные и неправильные действия, причины которых станут очевидными из четвертой части настоящего доклада.

56. Все попытки получить посредством индуцированных токов электричества химические действия оказались неудачными, хотя были приняты не только все описанные выше (22) меры предосторожности, но и всякие другие, какие только можно было вообразить. Не получалось никакого ощущения на язык; равным образом не обнаруживалось судорожного сокращения конечностей лягушки. Не удавалось также накалить ни древесный уголь, ни тонкую проволоку (133). Но при повторении на досуге опытов в Королевском институте с оправленным магнитным железняком, принадлежащим проф. Даниэлю (он был способен поднять около тридцати фунтов), наблюдались сильные сокращения мышц лягушки при каждом замыкании магнитного контакта. Сначала не удавалось вызывать сокращений при разрыве магнитного контакта; однако, предположив, что отсутствие действия обусловлено сравнительной медленностью разъединения, я стал производить это последнее ударом, и тогда лягушка содрогалась весьма сильно. Чем более мгновенно происходит соединение и разъединение, тем сильнее содрогание. Мне показалось также, что я мог заметить *ощущение* на язык и *вспышку* перед глазами, но никаких признаков химического разложения я обнаружить не мог.

57. Различные опыты, описанные в этом разделе, подтверждают, я полагаю, с достаточной полнотой получение электричества при помощи обыкновенного магнетизма. Что напряжение его очень слабо, а количество мало, это не будет казаться удивительным, если припомнить, что, подобно термоэлектричеству, оно развивается полностью внутри самого вещества металлов, сохраняющих всю свою проводящую способность. Но если что-то проходит описанным способом вдоль металлических проводов, если оно проявляет при этом прохождении особые магнитные действия и силу, присущие электрическому току; если оно может приводить в движение конечности лягушки и вы-

зывать их содрогание; если, наконец, оно может производить искру¹ при разряде через древесный уголь (32), то это что-то может быть только электричеством. Поскольку все действия могут производиться электромагнитами с железом (34), то нет сомнения, что для этих опытов пригодны устройства, подобные магнитам профессоров Молля (Moll), Генри (Henry), Тэн-Эйке (Ten Eyke) и др., способным поднимать до двух тысяч фунтов, и что в этом случае не только возможно получить более яркую искру, но можно было бы также раскалить проволоки и, поскольку ток способен проходить через жидкости (23), произвести и химическое действие. Вероятность получения таких действий станет еще больше, если силой подобных аппаратов возбуждать магнито-электрические устройства, описанные в разделе 4.

58. Доходящее почти до тождества сходство действия обычных магнитов, с одной стороны, и электромагнитов или вольта-электрических токов, с другой, находится в поразительном согласии с теорией г. Ампера, подтверждая последнюю и давая сильные доводы в пользу предположения, что действие в обоих случаях одинаково; однако, поскольку все же требуется различие в наименовании, то я предлагаю называть это действие, обнаруживаемое обыкновенными магнитами, *магнито-электрической или магнэлектрической индукцией* (26).

59. Единственное, резко бросающееся в глаза различие, существующее между вольта-электрической и магнито-электрической индукцией, заключается в том, что первая происходит внезапно, а вторая требует ощутимого времени; однако, даже в настоящей ранней стадии исследований, некоторые факты все же как будто указывают на то, что при дальнейшем изучении

¹ Способ получения искры от обычного магнита, достигавший этой цели, как мне удалось установить, — см. *Philosophical Magazine*, июнь 1832 г., стр. 5. В том же журнале за ноябрь 1834 г., V, стр. 349, указан другой способ получения магнито-электрической искры, еще более простой по своему принципу и позволяющий обойтись без всякого мягкого железа. Дек. 1838 г.

вопроса это несходство потеряет значение различия в физической природе явлений¹ (68).

РАЗДЕЛ 3

О новом электрическом состоянии материи²

60. Когда провод подвергается действию вольта-электрической или магнито-электрической индукции, он, видимо, находится в некотором особом состоянии, ибо он сопротивляется образованию в нем электрического тока, при обычном же состоянии провода ток бы в нем возбуждался; предоставленный самому себе, такой провод обладает способностью давать начало току, каковой способностью он в обычных условиях не обладает. Это электрическое состояние материи до сих пор не было известно, но оно, вероятно, оказывает значительное влияние во многих, если не в большинстве явлений, производимых токами электричества. По причинам, которые выяснятся в дальнейшем (71), я, посоветовавшись с некоторыми сведущими друзьями, позволил себе назвать это состояние электротоническим.

61. Покуда длится это особое состояние, оно не производит ни одного из известных электрических действий; не удалось мне также обнаружить, чтобы материя, пока она находится в этом состоянии, проявляла какие-либо особенные способности или обладала какими-нибудь особыми свойствами.

¹ Относительно дальнейших важных явлений и выводов, касающихся индукции электрических токов, см. девятую серию, пп. 1048—1118, Дек. 1838 г.

² Поскольку этот раздел был доложен Королевскому обществу, а затем напечатан, а также поскольку он, вследствие моего письма к г. Гашетту (Nachette) привлек внимание французского Института, я считаю себя обязанным оставить его здесь в виде части настоящей статьи; однако более поздние исследования (см. пп. 73, 76, 77) законов, управляющих этими явлениями, заставляют меня думать, что последние могут быть полностью объяснены без допущения электротонического состояния. Мои взгляды на этот вопрос будут изложены во второй серии настоящих исследований.—
М. Ф.

62. Это состояние не обнаруживается посредством отталкивательных или притягательных сил. Разнообразные опыты, произведенные с мощными магнитами над такими металлами, как медь, серебро, и вообще над немагнитными веществами, подтверждают это обстоятельство; в самом деле, подвергавшиеся опытам вещества, поскольку они являются электрическими проводниками, должны бы приобретать это состояние, и, тем не менее, проявления сил притяжения или отталкивания не наблюдалось. Я помещал в безвоздушном пространстве вблизи полюсов очень мощных магнитов медные и серебряные диски, весьма чувствительным образом подвешенные на крутильных весах, и все же не мог обнаружить ни малейшего притяжения или отталкивания:

63. Далее я располагал тонкую полоску из листового золота в непосредственной близости к медному стержню, причем между концами их устраивал с помощью ртути металлический контакт. Все это я поместил в безвоздушное пространство таким образом, что соединенные с концами устройства металлические стержни проходили через стенки сосуда в воздух. Затем я перемещал около этого устройства в различных направлениях мощные магнитные полюсы, причем металлическую цепь временами замыкал снаружи при помощи проводов, а временами размыкал. Однако мне никогда не удавалось обнаружить сколько-нибудь заметного движения золотого листка ни по направлению к магниту, ни к рядом расположенному медному стержню, который, поскольку это касается индукции, должен был бы находиться в таком же состоянии, как и самый листок.

64. Иногда возникало предположение, что при подобных обстоятельствах имеют место силы притяжения и отталкивания, т. е., что такие тела становятся слегка магнитными. Однако описанные здесь явления и, наряду с ними, то доверие, с которым мы вправе относиться к Амперовой теории магнетизма, ставят подобные случаи под некоторое сомнение. В самом деле, если магнетизм обуславливается притяжением электрических токов, и если мощные токи, возбуждаемые вначале или volta-

электрической, или магнито-электрической индукцией, мгновенно и сами собой исчезают (12, 28, 47), вызывая в то же время полное прекращение магнитных действий на стрелку гальванометра, то трудно или даже вовсе невозможно ожидать, чтобы какое-либо вещество, не обладающее теми особыми свойствами, какие присущи железу, никелю и еще одному-двум другим телам, могло проявлять магнитные притягательные силы. Представляется гораздо более вероятным, что наблюдавшиеся крайне слабые длительные действия были обусловлены присутствием следов железа или, может быть, какой-нибудь другой невыясненной причиной немагнитного характера.

65. Это особое состояние не обнаруживает задерживающего или ускоряющего действий на электрические токи, проходящие через приведенный в это особое состояние металл (20, 3, 33). Не удалось также обнаружить никакой подобной способности по отношению к самому индуцирующему току, так как при расположении массы металла, проводников, спиралей и т. д. всевозможными способами около проводника или спирали, несущей измеряемый гальванометром ток (20), не удавалось заметить ни малейшего длительного изменения в показаниях прибора. Таким образом металл, находящийся в предполагаемом особом состоянии, проводит электричество во всех направлениях в своей обычной степени, или, иными словами, его проводимость в этом состоянии не меняется заметным образом.

66. Это особое состояние воспринимают все металлы, что подтверждается предыдущими опытами с медью и железом (9) и легко воспроизводимыми опытами с золотом, оловом, свинцом, цинком, сурьмой, висмутом, ртутью и т. д., которые будут описаны в разделе 4 (132). Что касается железа, то эти опыты доказывают полнейшую и достойную замечания независимость явлений индукции от обычных проявлений магнетизма этого металла.

67. Это состояние целиком является следствием производимой индукции и исчезает сейчас же по удалении индуктивной силы. Состояние получается одинаковое, независимо от того,

чем оно создается: прохождением поблизости гальванических токов (26), или образованием магнита (34, 36), или простым приближением магнита (39, 50); оно является веским доказательством в добавление к тем, которые были выдвинуты г. Ампером в пользу тождества действующих во всех этих случаях агентов. Состояние это, вероятно, появляется ненадолго при прохождении обычной электрической искры (24), и, может быть, в дальнейшем его удастся получить в плохих проводниках при помощи слабых электрических токов или иным способом (74, 76).

68. Состояние это, повидимому, устанавливается мгновенно (12), едва ли требуя для этого заметного промежутка времени. Этим, вероятно, объясняется та *разница* во времени между вольт-электрической и магнито-электрической индукцией, которую обнаруживает гальванометр (59). Если через один из двух параллельных проводов, какие, например, имеются в полый спирали (34), пропустить гальванический ток, то в другом проводнике возникает ток столь малой продолжительности, как время, потребное для однократного действия такого рода, а это время, как указывает опыт, является неизмеримо малым. Это явление представится еще более мгновенным, потому что перед моментом соединения у полюсов батареи имеет место накопление силы, а потому первый напор электричества в соединительном проводнике оказывается больше того, который сохраняется после замыкания контакта; в этот момент подвергаемый действию индукции проводник приходит в соответствующее электротоническое состояние, которое тотчас же ослабевает до того состояния, в котором его может поддерживать постоянный ток; но это ослабление вызывает индуцированный ток, противоположный созданному ранее току. Вследствие этого первая индуцированная волна электричества более похожа на волну, получаемую при разряде лейденской банки, чем это имело бы место при других обстоятельствах.

69. Но если железный цилиндр внесен в ту же спираль (34) раньше, чем произведено соединение с батареей, то можно себе представить, что действие тока от этой последней инду-

цирует в железе бесчисленное множество подобных ему токов и превратит это железо в магнит. Как известно из опыта, для этого требуется некоторое время, ибо образуемый таким образом магнит, даже в том случае, когда он изготовлен из мягкого железа, не достигает своей полной интенсивности мгновенно. Это может зависеть от того, что токи внутри железа образуются и располагаются определенным образом в известной последовательности. Поскольку же магнит, наравне с током от батареи, обладает способностью вызывать индукцию, то совместное действие их обоих продолжает создавать индуцированное электричество до тех пор, пока их объединенное действие не дойдет до максимума; таким образом отклоняющая сила будет действовать достаточно долго, чтобы преодолеть инерцию стрелки гальванометра.

70. Во всех тех случаях, когда спирали или отрезки провода приближаются к магниту или удаляются от него (50, 55), прямой или обратный токи индуцированного электричества продолжают существовать в течение того времени, пока длится приближение или удаление; в самом деле, в течение этого времени электротоническое состояние усиливается или ослабляется, а такое изменение его сопровождается соответствующим появлением электричества; но это вовсе не противоречит взгляду, что электротоническое состояние устанавливается мгновенно.

71. Это особое состояние является, по видимому, состоянием напряжения, и его можно считать *эквивалентным* току электричества, по крайней мере, равному тому, который производится при появлении или исчезновении этого состояния. Но токи, создаваемые в начале и в конце, нельзя рассматривать как меру того напряжения, которого достигло электротоническое состояние. В самом деле, проводимость металла остается при этом неизменной (65), а развиваемое электричество существует только в течение одного момента (особое состояние воспринимается и утрачивается мгновенно (68)); поэтому, если электричество отводится с помощью длинных проводов, оказывающих ему

своим веществом препятствие, отвечающее их малым поперечным и значительным линейным размерам, то оно представляет собой только малую долю того электричества, которое действительно образовалось внутри вещества в момент прихода его в это состояние. Изолированные спирали и куски металла принимали это состояние мгновенно, и в них не удавалось обнаружить никаких следов электричества, как быстро ни производилось соединение с электрометром, после того как они были подвергнуты действию индукции, — все равно, с помощью тока батареи или магнита. Одна капля воды или кусок смоченной бумаги (23, 56) являлись препятствием, достаточным для того, чтобы прекратить ток через провод, причем образовавшееся электричество возвращалось к состоянию равновесия внутри самого металла, так что наблюдать его было невозможно.

72. Напряжение этого состояния может, таким образом, быть сравнительно очень велико. Но, независимо от того, велико оно или мало, едва ли можно себе представить, чтобы оно могло существовать, не оказывая обратного действия на первоначальный индуцирующий ток и не приводя к некоторого рода равновесию. Можно было бы высказать догадку, что это обстоятельство вызовет замедление первоначального тока; однако мне не удалось установить, чтобы такое замедление имело место в действительности. До сего времени мне не удалось вообще обнаружить в явлении никаких признаков, которые можно было бы приписать такому обратному действию.

73. Все полученные результаты говорят в пользу того, что электротоническое состояние связано с частицами, а не с массой провода или вещества, находящегося под действием индукции; в этом отношении оно отличается от индукции, производимой электричеством напряжения. Если это так, то можно допустить, что это состояние существует в жидкостях и тогда, когда нельзя обнаружить заметного тока, и даже в непроводниках; а самый ток, когда он существует, оказывается как бы

случайным явлением, зависящим от существования проводимости и мгновенной движущей силы, проявляемой частицами при их перераспределении. Даже при равенстве проводимостей токи электричества, которые до сего времени являются единственным признаком этого состояния, могут и не быть равными вследствие различий самих частиц в отношении количества, размеров, электрических условий и т. п. Лишь после того как будут установлены законы, управляющие этим новым состоянием, мы будем иметь возможность предсказывать, каково истинное состояние данного вещества и каковы получаемые с его помощью электрические явления.

74. Ток электричества, который индуцирует электротоническое состояние в соседнем проводе, по всей вероятности, индуцирует его и в своем собственном проводе; в самом деле, когда некоторый провод, благодаря току в близлежащем проводе, приходит в электротоническое состояние, то последнее никоим образом не является несовместимым с током электричества, проходящим через первый, и ему не мешает (62). Поэтому, если пропустить ток через второй, а не через первый провод, то представляется невероятным, чтобы его индуцирующее действие на второй стало меньше; наоборот, оно должно быть больше, так как расстояние между действующим агентом и подвергнутой действию материей значительно уменьшилось. Медный стержень присоединялся своими концами к гальванометру, а затем к стержню присоединялись полюсы батареи, состоящей из ста пар пластин; через стержень таким образом пропускался ток; затем гальваническая цепь внезапно размыкалась, и по гальванометру наблюдалось, имеются ли какие-нибудь признаки обратного тока через медный стержень — тока, обусловленного исчезновением предполагаемого электротонического состояния. Никакого подобного действия не получалось, как этого и следовало ожидать по двум причинам: во-первых, поскольку индукция и электротоническое состояние исчезают одновременно, а не последовательно, обратный ток соответствовал бы только нейтрализации последней части индуцирующего тока и, следовательно,

не обнаруживал бы никакого изменения направления; если же предположить, что эти явления разделены некоторым промежутком времени и что последний ток действительно отличается от первого, то его кратковременность и внезапность (12, 26) препятствовали бы его обнаружению.

75. Представление о том, что проводник приводится в электротоническое состояние скорее своим собственным, а не каким-либо внешним током, не должно вызывать никаких, я полагаю, возражений, особенно, если принять во внимание, что это состояние и токи друг другу, повидимому, не мешают (62, 71). Одновременное существование проводящего и электротонического состояний находит себе аналогию в том способе, каким можно пропустить электрические токи через магниты, где, оказывается, как токи, проходящие через магниты, так и их собственные токи сохраняют свои отличительные свойства и обнаруживают взаимодействия.

76. Сказанное относительно металлов распространяется также и на жидкости и на все прочие проводники и приводит нас к заключению, что при прохождении через них электрических токов эти вещества также приобретают электротоническое состояние. Если бы это подтвердилось, то едва ли можно было бы сомневаться в том, что это состояние играет роль при гальваническом разложении и при переносе элементов к полюсам. Повидимому, при электротоническом состоянии однородные частицы материи принимают правильное, но вынужденное электрическое расположение, совпадающее с направлением тока; в том случае, когда вещество неразложимо, прекращение этого состояния вызывает обратный ток; но в разложимом веществе это вынужденное состояние может оказаться достаточным для того, чтобы заставить элементарную частицу покинуть ту, с которой она находится в вынужденной связи, и соединиться с подобной же соседней частицей, по отношению к которой она находится в более естественных условиях; при этом вынужденное электрическое расположение разряжается или прекращается столь же полно, как если бы не было индукции. Однако, поскольку перво-

начальный гальванический ток еще продолжается, электро-тоническое состояние может мгновенно возобновиться, причем создается вынужденное положение соединенных друг с другом частиц: потом оно может как бы мгновенно разрядиться путем переноса элементарных частиц противоположного рода в противоположных направлениях, но всегда параллельно току. Даже различия, отмеченные д-ром Волластоном (Wollaston)¹ между обыкновенным и гальваническим электричеством, когда ими пользуются для того, чтобы произвести химическое разложение, как будто можно объяснить явлениями, связанными с индукцией электричества, получаемого от этих двух источников (25). Однако, поскольку я отложил эту область исследования, чтобы иметь возможность закончить исследования, содержащиеся в настоящем докладе, то (несмотря на большой соблазн) я воздерживаюсь от дальнейших рассуждений гипотетического характера.

77. Марианини (Marignani) описал открытое им особое свойство поверхностей металлических дисков, обнаруживающееся в том случае, когда они соприкасаются с влажными проводниками и когда через них пропускают ток электричества; они становятся тогда способными создавать обратный ток электричества, и Марианини удачно воспользовался этим действием для объяснения явлений в элементах Риттера.² Г-н О. де ля Рив (de la Rive) описал особое свойство, приобретаемое металлическими проводниками; оно заключается в том, что если их погрузить в жидкость как полюсы и замкнуть через них на некоторый промежуток времени гальваническую цепь, а затем отключить их от батареи и погрузить в ту же жидкость, то они сами производят электрический ток.³ Г-н ван Бек (van Beek) подробно описал случаи, когда электрические отношения одного металла, находившегося в контакте с другим, сохранялись после их разъединения и сопровождалась соответствующими химическими

¹ Philosophical Transactions, 1801, стр. 247.

² Annales de Chimie, XXXVIII, стр. 5.

³ Ibid., XXVIII, стр. 190.

действиями.¹ Эти состояния и результаты, повидимому, отличаются от электротонического состояния и его проявлений; однако об истинном отношении между одними и другими можно будет судить только тогда, когда наши сведения обо всех этих явлениях будут расширены.

78. В начале этого доклада (2) я имел случай упомянуть об одном опыте г. Ампера, связанном с электрической индукцией токов и произведенном ранее настоящего исследования; я пришел к заключениям, которые, повидимому, ставят под сомнение правильность самого опыта (62 и сл.); я считаю своим долгом по отношению к г. Амперу остановиться на этом опыте более подробно. Когда медный диск (говорит Ампер) был подвешен на шелковой нити и окружен спиралью, через которую пропускался заряд от мощной гальванической батареи, причем одновременно к диску подносился сильный магнит, то диск этот моментально поворачивался, занимая такое же положение равновесия, какое заняла бы сама спираль, если бы она могла двигаться свободно. Мне не удалось обнаружить этого действия и вообще какого-либо движения; однако причина моей неудачи в *последнем* отношении могла зависеть от малой продолжительности тока, недостаточной для преодоления инерции пластины (11, 12). Может быть, г. Амперу удалось получить движение благодаря большей тонкости приборов и мощности его электромагнитного устройства, а, может быть, он наблюдал лишь то движение, которое вызывалось прекращением действия. Однако все полученные мной результаты скорее опровергают выдвигаемое г. Ампером положение, что «ток электричества стремится привести электричество в проводах, вблизи которых он проходит, в движение того же направления», так как результаты эти указывают на противоположное направление получающегося тока (26, 53); далее они показывают, что действие это является мгновенным, что оно вызывается и магнитной индукцией и что оно сопровождается другими необыкновенными действиями.

¹ Annales de Chimie, XXVIII, стр. 49.

79. Кратковременность существования описываемых здесь явлений индукции является достаточным объяснением неопределенности и даже неудачи тех опытов, которые производились до сего времени и имели целью получение электричества с помощью магнитов или получение с их же помощью химического разложения или перераспределения вещества.¹

80. Таким же образом, повидимому, удастся полностью объяснить как наблюдаемые г. Араго замечательные взаимоотношения между металлами и магнитами при передвижении одних или других (120), так и большинство результатов, полученных сэром Джоном Гершелем (John Herschel), гг. Бэббеджем (Babbage), Гаррисом (Harris) и другими при повторении опытов Араго; при этом становится вполне ясным одно обстоятельство, казавшееся сначала необъяснимым, а именно — отсутствие взаимодействия между теми же металлами и магнитами, находящимися в покое. Я сейчас приступлю к описанию этих опытов, которые к тому же представляют собой наиболее удобный способ получения электричества при помощи магнетизма.

¹ Лусée, № 36 за 1 января, содержит длинную и несколько преждевременно опубликованную статью, в которой сделана попытка показать, что французские ученые опередили меня в моих исследованиях. Однако в этой статье ошибочные результаты гг. Френеля (Fresnel) и Ампера принимаются за истинные, а затем мои правильные результаты отождествляются с теми ошибочными. Я здесь упоминаю об этом для того, чтобы оказать Френелю должное уважение, большее, чем он того заслуживал бы тем, что он чуть-чуть опередил бы меня. В результате этот великий ученый одновременно со мною и пятьюдесятью другими лицами проделал опыты, которые, как показано в настоящем докладе, не могли привести к ожидаемым результатам. Он временно был введен в заблуждение и опубликовал сообщение о мнимом успехе; однако при более тщательном повторении своих опытов он не мог получить подтверждения их правильности; в возвышенном и чистом научном стремлении в той же мере устранять ошибку, как и раскрывать истину, он отказался от своего первого утверждения. Случай с Берцелиусом (Berzelius) и первоначально открытым им торием является еще одним примером такого благородства, и поскольку такие случаи представляются не так уже редко, то послужило бы к чести науки, если бы подобные примеры вызвали более частое подражание.

РАЗДЕЛ 4

Объяснение магнитных явлений Араго

81. Если медную пластинку вращать вблизи магнитной стрелки или магнита, подвешенного таким образом, чтобы он мог вращаться в плоскости, параллельной той, в которой вращается пластина, то магнит обнаруживает стремление следовать за движением пластинки; если же вращать магнит, то пластинка следует за его движением; действие оказывается столь сильным, что таким образом удастся вращать магниты или пластинки весом в несколько фунтов. Если магнит и пластина находятся друг относительно друга в покое, то между ними не удастся наблюдать ни малейшего притягивающего, отталкивающего или какого-либо другого действия (62). В этом и состоит явление, открытое г. Араго, который утверждает, что действие это имеет место не только для всех металлов, но для твердых и жидких тел и даже для газов, т. е. для всех веществ (130).

82. Г. Бэббеджу и сэру Джону Гершелю при совместном повторении ими опытов в Англии¹ удалось получить эти явления только для металлов и для угля, находящегося в особом состоянии (взятого из газовых реторт), т. е. только для очень хороших проводников электричества. Они приписывают это явление магнетизму, индуцированному в пластине магнитом, полюс которого вызывает в ближайшей части пластины противоположный себе полюс, а вокруг него более рассеянную полярность одноименного знака (120). Чтобы подвешенный магнит вращался, существенно, чтобы вращающееся под ним вещество приобрело и теряло магнетизм в течение некоторого измеримого промежутка времени, а не мгновенно (124). Эта теория приписывает вышеуказанное действие некоторой притягивающей силе; она не получила признания ни со стороны открывшего явление г. Араго, ни со стороны г. Ампера; против нее они выдвигают факт полного отсутствия притяжения, когда магнит и металл

¹ Philosophical Transactions, 1825, стр. 467.

находятся в покое (62, 126), хотя индуцированный магнетизм должен бы еще сохраняться и в этом случае; на основании опытов, произведенных с длинной стрелкой наклона, они полагают, что действие здесь является всегда отталкивательным (125).

83. По получении уже описанными способами электричества с помощью магнитов (36, 46), я рассчитывал получить при помощи опыта г. Араго новый источник электричества и не терял надежды, что мне удастся построить новую электрическую машину, основанную на магнито-электрической индукции земли. В этой надежде я произвел большое число опытов с магнитом Королевского общества в доме г. Кристи, причем при всех опытах я мог пользоваться ценной помощью последнего. Поскольку многие из опытов в течение самого исследования заменялись более совершенными, я считаю себя вправе изложить опыты в несколько ином порядке, с таким расчетом, чтобы прийти наиболее прямым путем к тому, что мне кажется правильным взглядом на природу явлений.

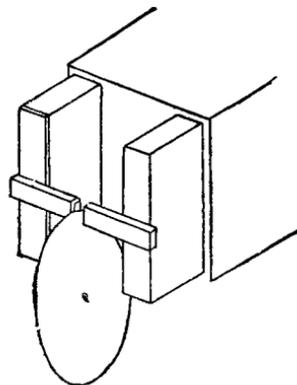


Рис. 7.

84. Магнит был описан выше (44). Чтобы сконцентрировать полюсы и приблизить их друг к другу, поперек полюсов были положены два железных или стальных стержня, длиной около шести или семи дюймов каждый, один дюйм шириной и полдюйма толщиной, как на рис. 7; чтобы они не скользили, они привязывались шнуром; их можно было приближать или удалять друг от друга на нужное расстояние. Иногда я брал два стержня из мягкого железа, согнутые так, что если их приложить каждый к одному из полюсов, то результирующие два меньшие полюса оказывались расположенными вертикально друг над другом, причем сверху мог быть помещен любой из них, по желанию.

85. Медный диск диаметром в двенадцать дюймов и толщиной примерно в одну пятую дюйма был укреплен на латунной оси и установлен на рамках таким образом, чтобы он мог вращаться как вертикально, так и горизонтально; притом край его вдвигался в большей или меньшей степени между магнитными полюсами (рис. 7). Край пластинки был хорошо амальгамирован для получения хорошего и в то же время подвижного контакта; часть пластинки около оси была обработана таким же образом.

86. Были устроены медные и свинцовые проводники или электрические коллекторы, которые должны были образовать контакт с краем медного диска (85) или с пластинками иной формы, которые будут описаны далее (101). Эти проводники имели приблизительно четыре дюйма в длину, одну треть дюйма в ширину и одну пятую дюйма в толщину; на одном конце каждого проводника была сделана небольшая бороздка, чтобы провод более точно прилегал к несколько выпуклому краю пластинок, а затем конец этот был амальгамирован. Медные проводники, толщиной в одну шестнадцатую дюйма, привязанные обычным способом, посредством скручивания, к другим концам этих проводников, вели к гальванометру.

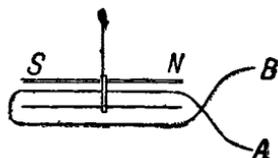


Рис. 8.

87. Гальванометр был грубой работы, но все же был достаточно точен в своих показаниях. Провод его был медный, покрытый шелком, и образовал шестнадцать или восемнадцать витков. Две швейные иглы были намагничены и укреплены на сухой соломинке параллельно друг к другу, но в противоположных направлениях, на расстоянии примерно в полдюйма; эта система была подвешена на нити из некрученого шелка так, чтобы нижняя игла находилась внутри мультипликационных витков, а верхняя — над ними. Верхняя игла была намагничена гораздо сильнее и давала всей системе направление земного поля; рис. 8 изображает направление провода и игл

при установке прибора по магнитному меридиану; для удобства ссылок в дальнейшем концы проводов обозначены буквами *A* и *B*. Буквы *S* и *N* обозначают южный и северный концы иглы, когда она находится под влиянием одного лишь земного магнетизма; таким образом конец *N* соответствует полюсу с меткой (44). Весь прибор был защищен стеклянным колпаком и в отношении положения и расстояния от большого магнита находился в тех же условиях, что и ранее (45).

88. После установки всех этих частей медный диск был прилажен, как на рис. 7, причем малые магнитные полюсы были раздвинуты примерно на полдюйма, а край пластинки был вдвинут между ними приблизительно на половину их толщины. Один из проводов гальванометра был дважды или трижды свободно обвит вокруг латунной оси пластинки, а другой был присоединен к проводнику (86), который, в свою очередь, рукой удерживался в контакте с амальгамированным краем диска в том его месте, которое приходилось непосредственно между полюсами. При таких условиях все оставалось неподвижным, и гальванометр не обнаруживал никакого действия. Но как только пластинка приводилась в движение, возникало действие на гальванометр, и, при быстром вращении пластинки, стрелку удавалось отклонять на 90° и более.

89. В таких условиях трудно было добиться равномерного хорошего и плотного контакта между проводником и краем вращающегося диска; трудно было также в первых опытах получить равномерную скорость вращения; по этим двум причинам стрелка обнаруживала стремление к непрерывным колебаниям; однако не представляло никакого труда установить, в какую сторону она отклонялась и, вообще, вокруг какого положения она колебалась. Впоследствии, при более тщательном повторении опытов, оказалось возможным поддерживать постоянное отклонение стрелки около 45° .

90. Этим было показано, таким образом, что можно создать постоянный ток электричества при помощи обыкновенных магнитов (57).

91. При изменении направления вращения диска, с сохранением всех других обстоятельств неизменными, стрелка гальванометра отклонялась с такой же силой, как и ранее, но отклонение происходило в противоположную сторону, и, следовательно, полученный в этом случае ток электричества также был обратного направления.

92. Ток электричества возникал и в том случае, когда проводник помещался на краю диска несколько правее или левее, как это отмечено пунктиром на рис. 9, причем он имел прежнее направление (88, 91). Так обстояло дело вплоть до значительных расстояний, а именно до расстояния в 50 и 60° в ту или другую

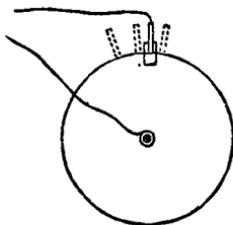


Рис. 9.

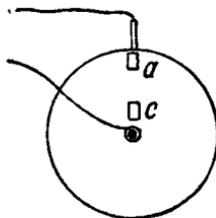


Рис. 10.

сторону от места нахождения магнитных полюсов. Ток, собираемый проводником и отводимый к гальванометру, имел одинаковое направление по обе стороны от места наибольшей интенсивности, но по мере удаления от этого места постепенно убывал по силе. На равных расстояниях от местоположения полюсов он обладал, повидимому, одинаковой силой и в этом отношении не зависел от направления вращения. При изменении направления вращения диска на противоположное направление тока электричества также менялось; но других изменений не обнаруживалось.

93. Если поднять пластинку так, чтобы она загоразживала один полюс от другого (а, рис. 10), то наблюдаются те же действия, в том же порядке и с той же интенсивностью, что и раньше. При поднятии пластины еще выше, так, чтобы полюсы

перешли в точку c , эти действия продолжали получаться и, по видимому, с той же силой, как и ранее.

94. Если приложить проводник к краю пластинки, как если бы он был к ней прикреплен, и двигать его вместе с ней между полюсами, хотя бы всего на несколько градусов, то стрелка гальванометра приходит в движение и указывает на присутствие тока электричества — такого же, какой бы имел место, если бы диск вращался в том же направлении, а проводник оставался неподвижным.

95. Если прервать соединение гальванометра с осью, соединить концы его с двумя проводами, которые оба приложены к краю медного диска, то получают токи электричества, пред-

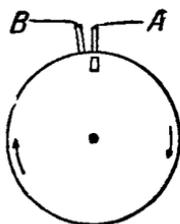


Рис. 11.

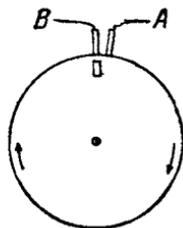


Рис. 12.

ставляющие собой более сложные явления, в полном, однако, согласии с приведенными выше результатами. Так, если провода были приложены, как изображено на рис. 11, то создавался определенный ток через гальванометр, но если они были слегка смещены, как показано на рис. 12, то создавался ток противоположного направления; дело в том, что в первом случае гальванометр показывал разность между сильным током через A и слабым через B , а во втором — разность между слабым током через A и сильным через B (92), что и вызывало противоположные отклонения.

96. Равным образом, когда оба проводника находились на одинаковых расстояниях от полюсов, как показано на рис. 13, в гальванометре не обнаруживалось никакого тока, помимо кратковременных отклонений, которые получались вследствие

неравномерности контакта, независимо от того, в какую сторону вращался диск; в самом деле, тогда через оба проводника устремлялись равные токи в одном и том же направлении. Но если оба проводника присоединялись к одной проволоке гальванометра, а ось к другой (рис. 14), то гальванометр обнаруживал ток, в соответствии с направлением вращения (91); оба проводника действовали теперь согласно таким же образом, как действовал раньше один проводник (88).

97. Все эти действия можно было получить при приближении к пластинке всего только одного полюса магнита; в смысле направления и т. п. они были такие же, как раньше, но ни в каком случае не имели прежней силы.

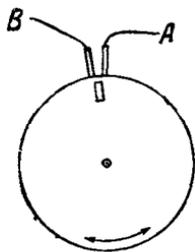


Рис. 13.

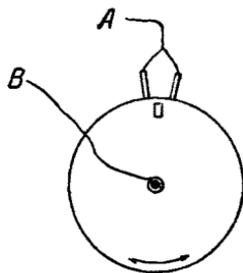


Рис. 14.

98. Были приняты все меры, чтобы сделать эти результаты независимыми от земного магнетизма или от магнитных взаимодействий магнита и стрелок гальванометра. Контакты устраивались по магнитному экватору пластинки и в других точках; пластинка была расположена горизонтально, а полюсы вертикально, были принимаемы и другие предосторожности. Однако отсутствие каких-либо мешающих явлений, о каких говорилось выше, легко доказывалось тем, что все явления совершенно исчезали при удалении диска от полюсов или полюсов от диска, если прочие условия оставались неизменными.

99. Зависимость между получающимся током электричества и магнитным полюсом, направлением вращения пластинки и т. д. можно выразить следующим образом: если полюс без

метки находится под пластинкой и последняя вращается горизонтально, по направлению винта, то электричество, которое собирается на ближайшем к полюсу крае пластинки, будет положительным. Так как полюс земли можно мысленно рассматривать как полюс без метки, то эту зависимость между направлением вращения, полярностью и получающимся электричеством нетрудно запомнить. Так, если на рис. 15 окружность изображает медный диск, вращающийся в указанном стрелкой направлении, а *a* — проекцию полюса без метки, помещенного под пластинкой, то электричество, собираемое в *b* и соседних местах, будет положительное, тогда как электричество, собираемое в центре *c* и других местах, будет отрицательное (88). Таким образом токи в пластинке направлены от центра мимо магнитных полюсов по направлению к окружности.

100. Если при прочих равных условиях полюс с меткой поместить сверху, то электричество в *b*, рис. 15, все еще будет положительное. Если полюс с меткой поместить снизу или полюс без метки сверху, то электричество меняет знак на противоположный. Если в том или другом случае направление вращения изменить на обратное, то электричество также меняет свой знак.

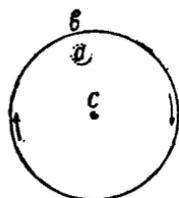


Рис. 15.

101. Теперь очевидно, что опыт с вращающейся пластинкой является просто видоизменением более простого опыта с прямолинейным продвижением куска металла между магнитными полюсами, и что в таких случаях возникают токи электричества под прямым углом к направлению движения и пересекающие последнее там, где расположены полюс или полюсы. Это в достаточной мере было доказано следующим простым опытом: кусок медной пластинки в одну пятую дюйма толщиной, в полтора дюйма шириной и в двенадцать дюймов длиной, покрытый по краям амальгамой, был помещен между магнитными полюсами, а провода от гальванометра соприкасались с ребрами пластинки; затем пластина продвигалась между концами провод-

ников в направлении стрелки (рис. 16); стрелка гальванометра немедленно отклонялась; при этом ее северный конец, или конец с меткой, отходил к востоку, указывая, что проводник *A* получил отрицательное, а проводник *B* — положительное электричество; а так как полюс с меткой находился сверху, то результат этот находится в полном согласии с действием, получаемым при вращении пластинки (99).

102. При обратном движении пластинки, стрелка гальванометра отклонялась в противоположном направлении, указывая на наличие обратного тока.

103. Чтобы выяснить характер электрического тока, существующего в отдельных участках движущейся медной пла-

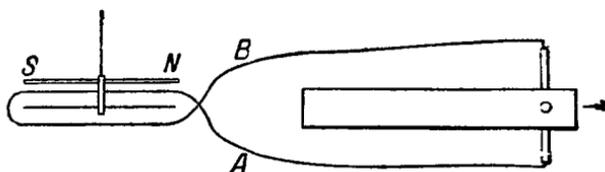


Рис. 16.

стинки, различно расположенных относительно индуцирующих полюсов, к исследуемому участку вблизи полюса прикладывался только один коллектор (86), а другой соединялся с концом пластинки, как с наиболее нейтральным местом; полученные в этом случае результаты изображены на рис. 17—20, причем полюс с меткой находится над пластинкой. *B* (рис. 17) получало положительное электричество, а на противоположной стороне (рис. 18), при движении пластинки в том же направлении, оно получало отрицательное электричество; при изменении движения пластинки на обратное, как показано на рис. 20, *B* получало положительное электричество, а при первоначальном расположении, но при изменении направления движения, изображенного на рис. 17, на такое, как изображено на рис. 19, *B* получало отрицательное электричество.

104. Если расположенные между магнитами пластинки сначала отодвигались в сторону, как изображено на рис. 21,— так, чтобы целиком оказаться вне оси полюсов, то все же

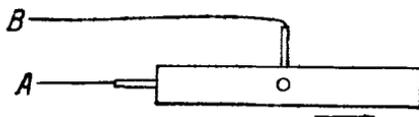


Рис. 17.

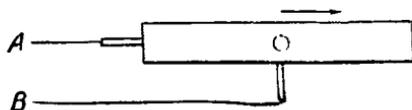


Рис. 18.

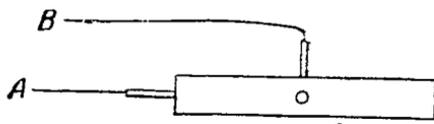


Рис. 19.

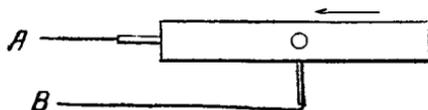


Рис. 20.

проявлялись прежние действия, хотя и не в такой сильной степени.

105. Когда магнитные полюсы соприкасались, а медная пластинка проходила между проводниками вблизи точки касания полюсов, то наблюдалось лишь очень слабое действие. Когда полюсы раздвигались на толщину игральной карты, дей-

ствие получалось несколько сильнее, но все еще оставалось очень незначительным.

106. Когда между проводниками и полюсами проводилась покрытая амальгамой медная проволока толщиной в одну восьмую дюйма (101), то получалось очень значительное действие, хотя и не такое сильное, как с пластинками.

107. Если проводники были все время приложены к каким-либо определенным местам медных пластинок и вместе с ними проходили между магнитными полюсами, то возникали такие же действия, как только что описанные, в согласии с результатами, полученными с вращающимся диском (94).

108. Если проводники присоединялись к концам пластинок, а последние проходили между магнитными полюсами в направлении, перпендикулярном их длине, то получались те же самые действия (рис. 22). Близкие к концам места пластинок можно рассматривать либо как простые проводники, либо как части металла, в кото-

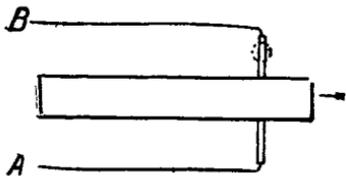


Рис. 21.

рых возбуждается электрический ток, сообразно силе магнита и их расстоянию до него; но результаты были в полном согласии с полученными ранее. Действия были так же сильны, как и в том случае, когда проводники укладывались к краям пластинки (101).

109. Если продвигать между полюсами простую проволоку, соединенную с гальванометром так, что получается замкнутая цепь, то это оказывает на гальванометр известное действие; если двигать взад и вперед провод таким образом, чтобы даваемые переменные импульсы совпадали с колебаниями стрелки, эти последние можно довести до 20 или 30° по ту и другую сторону от магнитного меридиана.

110. Если соединить концы металлической пластинки с проводами гальванометра, а затем пронести ее между полюсами вдоль ее длины (как изображено на рис. 23) в том или другом

направлении, то никакого действия на гальванометр не наблюдается. Но как только движение становилось поперечным, стрелка отклонялась.

111. Эти действия наблюдались также с помощью *электромагнитных полюсов*, получаемых посредством медных спиралей с железными сердечниками или без них (34, 54). Отклонения имели одинаковое направление, но действие в том случае, когда имелись железные сердечники, было значительно сильнее, чем без них.

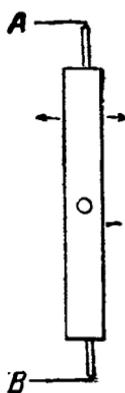


Рис. 22.

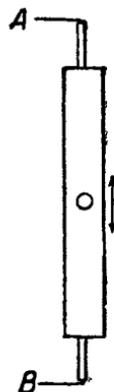


Рис. 23.

112. Если провести между полюсами ребром плоскую спираль, то наблюдается любопытное действие на гальванометр; стрелка сначала сильно отклоняется в одну сторону, затем внезапно останавливается, как будто встретила твердое препятствие, и тотчас же возвращается обратно. Безразлично, как продвигалась спираль: сверху вниз или снизу вверх, — движения стрелки имеют то же направление, затем внезапно прекращалось, а затем менялось на обратное. Но если перевернуть спираль на пол оборота, т. е. заменить один край другим, то движения происходят в обратном направлении: но, как и ранее, они внезапно прекращаются, и затем меняют знак на противоположный. Это двойное действие зависит от того, что две половины

спирали (образуемые прямой, проходящей через центр спирали перпендикулярно к направлению ее движения) действуют в противоположных направлениях; а причина, по которой стрелка отклонялась в одну и ту же сторону, независимо от того, в каком направлении проходила спираль мимо полюсов, заключалась в том, что при изменении направления движения, направление проводов в надвигающейся половине спирали также менялось. Как бы явления эти ни казались на первый взгляд удивительными, их можно непосредственно свести к действию отдельных проводов (40, 109).

113. Первоначально опыты с вращающейся пластинкой, проводами и металлическими пластинками были успешно выполнены с большим магнитом, принадлежащим Королевскому обществу; но впоследствии все опыты были повторены с двумя стержневыми магнитами, имевшими два фута в длину, полтора дюйма в ширину и полдюйма в толщину, и с более чувствительным гальванометром; при этом результаты получились самые поразительные. Очень мощными оказываются электромагниты с железом, как, например, электромагниты Молля, Генри и т. д. (57). При производстве опытов с различными веществами чрезвычайно существенно устранить или хотя бы примерно оценить и учесть термоэлектрические эффекты (происходящие от прикосновения пальцев и т. п.); эти эффекты легко отличимы по их постоянству и независимости от магнитов, а также от направления движения.

114. Зависимость, существующая между полярностью магнита, движущимся проводником или металлом и направлением образующегося тока, т. е. закон, управляющий получением электричества посредством магнито-электрической индукции, очень проста, хотя для выражения ее встречаются некоторые затруднения. Если на рис. 24 PN изображает горизонтальный проводник, проходящий перед магнитным полюсом с меткой так, что его движение совпадает с той кривой, которая проходит снизу вверх; или же если его движение, параллельное самому себе, направлено по касательной к этой кривой, при-

чем в основном следует направлениям, указанным стрелками, или если он проходит мимо полюса в других направлениях, но так, что пересекает магнитные кривые ¹ в том же основном направлении или с той же стороны, с которой они бы пересекались проводом, движущимся вдоль пунктирной кривой, то ток электричества в проводе идет от P к N . Если перемещать провода в противоположном направлении, то электрический ток пойдет от N к P . Или иначе, если провод находится в вертикальном положении, обозначенном $P' N'$, и перемещается в подобных же направлениях, следуя пунктирной горизонтальной кривой, до пересечения с магнитными кривыми, находящимися по одну с ним сторону, то ток пойдет от P' к N' . Представим себе, что провод направлен по касательной к кривой поверхности цилиндрического магнита, и приведем его в какое-либо другое положение, обводя провод вокруг этой поверхности, или будем вращать самый магнит вокруг его оси так, чтобы против упомянутого выше провода стало другое место магнита; если после этого перемещать провод в указанных направлениях, то ток электричества опять пойдет от P к N ; а если перемещать провод в противоположном направлении, — от N к P . Итак, что касается перемещений провода мимо полюса, то их можно свести к двум друг другу прямо противоположным, одно из которых производит ток от P к N , а другое — от N к P .

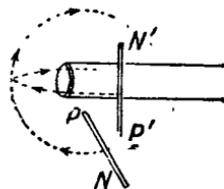


Рис. 24.

115. То же остается справедливым и для полюса без метки, с той разницей, что если подставить его вместо изображенного на рисунке полюса, то при движении проводов в направлении стрелок, ток электричества пойдет от N к P , а при движении в обратном направлении — от P к N .

¹ Под магнитными кривыми я понимаю линии магнитных сил, хотя и искаженные соседством полюсов; эти линии вырисовываются железными опилками; к ним касательно располагались бы весьма небольшие магнитные стрелочки.

116. Итак, направление тока электричества, который возникает в металле при движении вблизи магнита, зависит от взаимного расположения металла и равнодействующей магнитного действия или магнитных кривых, и эту зависимость можно выразить следующим удобопонятным образом: пусть AB (рис. 25) представляет цилиндрический магнит, где A есть полюс с меткой, — а B — без метки; пусть PN есть серебряное лезвие ножа, расположенное поперек магнита острием кверху и повернутое стороной с зарубкой к полюсу A , тогда, независимо от того, в каком направлении или положении двигать нож острием вперед, вокруг полюса с меткой или вокруг полюса без метки, возбуждаемый ток электричества пойдет от P к N , при усло-

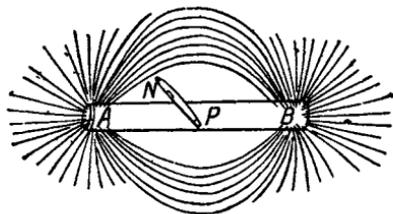


Рис. 25.

вии, что пересекаемые кривые, исходящие из A , упираются в сторону ножа с зарубкой, а исходящие из B — в сторону без зарубки. Или, если перемещать нож тупой стороной вперед, то ток идет от N к P при любом положении [ножа] и направ-

лении [движении], если только пересекаемые кривые упираются в те же поверхности, что и раньше. Легко построить небольшую модель, в которой деревянный цилиндр изображает магнит, какой-нибудь плоский предмет — лезвие, а кусок веревки, соединяющий один конец цилиндра с другим и проходящий через отверстие в лезвие, играет роль магнитных кривых; таким образом сразу можно получить результат для любого возможного направления [движения].

117. Когда находящийся под действием индукции провод проходит мимо электромагнитного полюса, например, мимо одного из концов медной спирали, по которой течет электрический ток (34), то в приближающемся проводе ток идет в том же направлении, что и в ближайших к нему местах или сторонах витков, а в удаляющемся проводе — в проти-

в противоположном тому, который имеется в соседних с ним местах.

118. Все эти результаты доказывают, что способность индуцировать токи проявляется по окружности вокруг магнитной равнодействующей или силовой оси точно так, как расположенный по окружности магнетизм возникает вокруг электрического тока и им обнаруживается.

119. Совокупность описанных выше опытов доказывает, что при прохождении куска металла (то же, должно быть, справедливо и для всякого другого проводящего вещества (213)) мимо одиночного полюса, между противоположными полюсами магнита или вблизи электромагнитных полюсов, независимо от того, имеется ли железный сердечник или нет, внутри металла возникают электрические токи, перпендикулярные к направлению движения; в опытах Араго эти токи направлены, следовательно, приблизительно по радиусам. Если отдельный провод двигать вблизи магнитного полюса наподобие спицы колеса, то в нем начинает протекать ток электричества от одного конца к другому. Если представить себе колесо, составленное из большого числа таких радиусов и вращающееся поблизости полюса наподобие упомянутого выше медного диска (85), то в каждом радиусе при прохождении его мимо полюса будет появляться ток. Если предположить, что радиусы соприкасаются своими боковыми частями, то в результате получается медный диск, в котором направление токов будет в общем прежним, видоизменяясь лишь благодаря напряжению, которое может возникнуть между частицами, находящимися теперь в металлическом контакте.

120. Теперь, когда мы знаем о существовании этих токов, явления, открытые Араго, можно объяснить, не приписывая их тому, что в меди образуется полюс, противоположный приближающемуся, и что он окружен рассеянной полярностью того же знака, как приближающийся (82); равным образом не существенно, чтобы пластинка приходила в свое состояние и выходила из него в течение конечного времени; с другой стороны,

нет, повидимому, необходимости в допущении какой-либо отталкивающей силы (82), как причины вращения.

121. Действие имеет совершенно ту же природу, что и электромагнитные вращения, которые мне посчастливилось от-

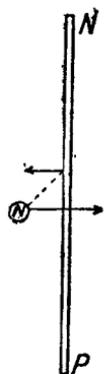


Рис. 26.

крыть несколько лет тому назад.¹ Согласно произведенным в то время, а с тех пор многократно подтвержденным опытам, если соединить проводник PN (рис. 26) с положительным и отрицательным зажимами гальванической батареи так, чтобы положительное электричество проходило от P к N , а полюс с меткой поместить вблизи провода, между этим последним и наблюдателем, то полюс будет перемещаться в направлении, касательном к проводу, т. е. вправо, а провод будет двигаться по касательной влево, как указано стрелками. Совершенно то же самое происходит при вращении пластинки под магнитным полюсом; в самом деле, пусть N (рис. 27) есть полюс с меткой, расположенный над круглой пластинкой, и пусть последняя вращается при этом в направлении стрелки; токи положительного электричества немедленно устремляются из центральных частей, в общем по направлению радиусов, мимо полюса к точкам окружности a по другую сторону этого полюса (99, 119); они находятся, таким образом, относительно него в точно таком же положении, как ток в проводнике (PN , рис. 26), а потому полюс таким же образом движется вправо.

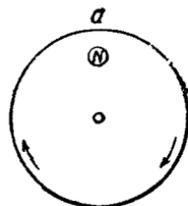


Рис. 27.

122. Если изменить вращение диска на обратное, то и токи меняют свое направление на обратное (91), и полюс поэтому движется влево. Если взять противоположный полюс, то действия происходят так же, т. е. в тех же направлениях, потому что возникают токи

¹ Quarterly Journal of Science, XII, стр. 74, 186, 416, 283.

электричества, противоположные описанным, а при одновременной замене как полюсов, так и токов на обратные видимое действие остается неизменным. В каком положении ни поставить ось магнита, если только один и тот же полюс окажется приложенным к одной и той же стороне пластинки, возникающий ток пойдет в том же направлении, в согласии с уже высказанным законом (114 и т.д.), и таким образом можно объяснить любой факт, относящийся к направлению движения.

123. Эти токи замыкаются или возвращаются в местах пластинки, более удаленных от мест расположения полюса по каждую сторону от него, где, само собой разумеется, магнитная индукция слабее: а когда мы пользуемся коллекторами и ток электричества отводится к гальванометру (88), отклонение в этом последнем есть только повторение тем же током или его частью действия, вызываемого вращением в магните над самой пластинкой.

124. Именно на основании только что изложенной точки зрения я позволил себе сказать, что нет необходимости, чтобы пластинка приходила в свое состояние и выходила из него в течение конечного промежутка времени (120); в самом деле, пусть ток достигнет полного развития несколько ранее, чем он придет в положение наибольшего приближения к вертикальному полюсу магнита, а не как раз в этот момент или несколько позднее; тогда все же относительные движения полюса и пластинки останутся такими же, так как результирующая сила направлена по касательной, а не по прямой, их соединяющей.

125. Однако возможно (хотя это и не необходимо для вращения), что для развития в пластинке максимального тока требуется время, а в этом случае равнодействующая всех сил должна опережать магнит при вращении пластинки или отставать от магнита при вращении последнего; в пользу этого, повидимому, говорят многие опыты с чисто электромагнитными полюсами. В этом случае тангенциальная сила может быть разложена на две другие, из которых одна параллельна,

а другая нормальна к плоскости вращения. Первая будет тогда той силой, которая необходима для вращения пластинки с помощью магнита или магнита с помощью пластинки; вторая будет отталкивательной силой и, вероятно, представляет собой ту силу, действия которой также открыл Араго (82).

126. Странное, казавшееся столь необъяснимым обстоятельство, сопровождающее это действие, а именно — прекращение всех явлений, когда магнит и металл перестают двигаться, теперь находит себе полное объяснение (82); в этом случае одновременно прекращаются обуславливающие движение электрические токи.

127. Все действия, наблюдаемые при разрыве металлической непрерывности, и вытекающее отсюда уменьшение силы, описанное гг. Бэббеджем и Гершелем,¹ находят теперь свое естественное объяснение, равно как и восстановление силы при заполнении промежутков металлическими веществами, которые, хотя и являются проводниками электричества, сами по себе лишь в слабой степени обладают свойством влиять на магниты. Можно придумать и новые способы разрезания пластинки, которые почти совершенно уничтожат ее силу. Так, прорежем медную пластинку (81) на расстоянии примерно одной пятой или одной шестой ее диаметра от края так, чтобы отделить от нее кольцо; затем кольцо это приставим обратно, но с промежуточным слоем бумаги (рис. 28) и произведем опыт Араго с этой составной пластинкой, приладив ее так, чтобы прорез постоянно находился против полюса; очевидно, что для магнитных токов встретится теперь сильное препятствие, а пластинка, вероятно, утратит большую часть присущих ей действий.²

¹ Philosophical Transactions, 1825, стр. 481.

² Этот опыт был действительно произведен г. Кристи, получившим указанные здесь результаты; он описан в Philosophical Transactions, 1827, стр. 82.

Элементарный результат подобного рода был получен с двумя кусками толстой меди, такой формы, как показано на рис. 29.

Два соседних края были покрыты амальгамой и приложены друг к другу, и все это устройство проходило между полюсами магнита в направлении, параллельном краям; тогда в проводах, присоединенных к наружным углам, возникал ток, и на гальванометре обнаруживалось сильное действие; но если повторять опыт, проложив между краями один лист бумаги, заметного действия получить не удастся.

128. Прорез такого рода не мог бы сильно мешать магнитной индукции, если предположить, что она сходна по природе с обыкновенной индукцией, получающейся в железе.

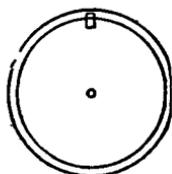


Рис. 28.

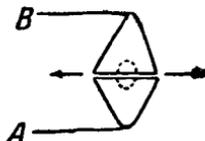


Рис. 29.

129. Такое же явление вращения или отклонения стрелки, какое г. Араго получил с помощью обыкновенных магнитов, г. Амперу удалось получить с помощью электромагнитов. Это находится в полном согласии с результатами, относящимися к вольта-электрической и магнитоэлектрической индукции, описанными в настоящем докладе. Я брал вместо обычных полюсов плоские спирали из медной проволоки, через которые пропускались электрические токи (111); прикладывая иногда одну спираль к одной стороне вращающейся пластинки, а иногда две к противоположным сторонам, я получал индуцированные токи электричества от самой пластинки; можно было отвести их в гальванометр и с его помощью удостовериться в их существовании.

130. Указанная здесь причина вращения в опыте Араго, а именно — образование электрических токов, кажется более

чем достаточной во всех тех случаях, когда в опыте участвуют металлы, а может быть, и другие проводники; что же касается таких веществ, как стекло, смолы и, особенно, газы, то представляется невозможным, чтобы в них можно было образовать токи электричества, способные произвести эти действия. Тем не менее, Араго нашел, что действия, о которых идет речь, производились с помощью как этих, так и всех испытанных им веществ (81). Правда, гг. Бэббедж и Гершель не наблюдали их ни с какими неметаллическими веществами, за исключением угля в сильно проводящем состоянии (82). Г-н Гаррис подтвердил их существование при дереве, мраморе, песчанике и отоженном стекле, но не получил никакого действия с серной кислотой и насыщенным раствором сернокислого железа, хотя последние вещества являются лучшими проводниками электричества, чем первые.

131. Позднейшие исследования, несомненно, выяснят эти затруднения и разрешат вопрос, всегда ли тормозящее или ускоряющее действие, о котором говорилось выше, появляется одновременно с электрическими токами.¹ Тот факт, что действие это в металлах продолжается только в то время, пока существуют токи, т. е. пока имеется движение (82, 88), а равно объяснение наблюденного г. Араго (82, 125) отталкивательного действия являются сильными доводами в пользу того, чтобы приписать его этой причине; но, может быть, она проявляется совместно с другими причинами, иногда действующими и отдельно.

132. Медь, железо, олово, цинк, свинец, ртуть и все испытанные металлы при прохождении между магнитными полюсами обнаруживали электрические токи; ртуть для этой цели поме-

¹ Произведенные мною с тех пор опыты убеждают меня, что это особое действие всегда обусловливается образующимися в этом случае токами; эти опыты дают способ для различения этого действия от действия обыкновенного магнетизма или всякой другой причины, включая такие, как механические или случайные причины, создающие подобные же действия (254).

шалась в стеклянную трубку. Плотный уголь, отлагающийся в газовых ретортах, также давал ток, а обыкновенный древесный уголь не давал. Не удалось мне также получить никакого ощутимого действия ни с рассолом, ни с серной кислотой, ни с растворами солей и т. д., все равно, вращал ли я их в сосудах, или заключал в трубки и заставлял их проходить в таком виде между полюсами.

133. Мне никогда не удавалось получить никакого ощущения на язык с помощью проволок, которые я соединял с проводами, прижатыми к краям вращающейся пластинки (88), или с помощью металлических полосок (101). Не удавалось мне также ни нагреть тонкую платиновую проволоку, ни получить искру, ни вызвать сокращение конечностей лягушки. Равным образом мне не удалось обнаружить с помощью полученного таким образом электричества каких-либо химических действий (22, 56).

134. Электрический ток во вращающейся медной пластинке занимает лишь небольшое пространство, протекая около полюсов и разряжаясь справа и слева на сравнительно весьма малых расстояниях (123); при этом он проходит в толстой массе металла, обладающего чуть ли не самой большой проводимостью и способствующего, следовательно, в исключительной степени образованию и разряжению тока; несмотря на это, наружу могут быть выведены значительные токи, которые способны проходить через тонкие проволоки длиною в сорок, пятьдесят, шестьдесят и даже сто футов. На основании всех этих соображений, очевидно, что ток в самой пластинке должен быть очень мощным, когда мы имеем быстрое вращение и сильный магнит. Это в достаточной мере подтверждается также той готовностью и легкостью, с которой магнит весом в десять или двенадцать фунтов следует за движением пластинки, причем сильно закручивает веревку, на которой он подвешен.

135. Было произведено два грубых опыта, имеющих целью построение *магнито-электрических машин*. В одном опыте кольцо шириной в полтора дюйма и с внешним диаметром в двенад-

цать дюймов, вырезанное из толстого медного листа, было установлено так, чтобы оно могло вращаться между полюсами магнита, представляя собой пластинку, вроде тех, которые служили для опытов ранее (101), но бесконечной длины; внутренний и внешний края были покрыты амальгамой, и к каждому краю в месте расположения полюсов были приложены упомянутые выше проводники. Получавшийся ток электричества, как показал гальванометр, был не сильнее, чем ток от круглой пластинки (88), если вообще достигал его величины.

136. В других опытах небольшие толстые диски из меди или другого металла, диаметром в полдюйма, приводились в быстрое вращение вблизи полюсов, но так, что ось вращения не совпадала с осью полюсов; образующееся электричество собиралось, как и ранее, проводниками, скользящими по краям (86). Токи возникали, но значительно меньшей силы, чем в случае круглой пластины.

137. Последний опыт аналогичен тем, которые производил г. Барлоу (Barlow) с вращающимся железным шаром, подверженным влиянию земли.¹ Полученные им явления гг. Бэббедж и Гершель отнесли к той же причине, которая принималась за действующую в опыте Араго;² однако было бы интересно знать, в какой мере отклонение стрелки можно объяснить получаемым при опыте электрическим током. Достаточно провести медный проводник шесть или семь раз взад и вперед вблизи полюсов магнита, изохронно с колебаниями стрелки присоединенного к нему гальванометра, чтобы заставить стрелку колебаться в пределах дуги от 60 до 70°. Вращение медного шара, может быть, решило бы вопрос и могло бы даже пролить свет на более длительные, хотя в некоторой мере аналогичные, явления, полученные г. Кристи.

138. То, что было ранее сказано относительно железа (66), а также отсутствие связи между характерными для этого веще-

¹ Philosophical Transactions, 1825, стр. 317.

² Там же, 1825, стр. 485.

ства обычными магнитными явлениями и описанными здесь явлениями магнито-электрической индукции, имеющими место в этом и других металлах, были полностью подтверждены многими результатами, аналогичными тем, которые описаны в этой главе. Когда между магнитными полюсами проходила железная пластинка, подобная описанной ранее медной (101), она давала ток электричества, как и медная пластинка, но безусловно меньший по силе; в опытах же с индукцией электрических токов (9) нельзя было заметить никакого качественного различия между железом и другими металлами. Таким образом способность железной пластинки вести за собой магнит или препятствовать магнитному действию нужно тщательно отличать от подобной же способности таких металлов, как серебро, медь и т. п., поскольку в железе явления в большей своей части объясняются тем, что можно назвать обычным магнитным действием. Нет никакого сомнения, что причина, указанная гг. Бэббеджем и Гершелем, при объяснении явлений Араго, является истинной в тех случаях, когда металлом, служившим для опытов, было железо.

139. Обнаруженный этими исследователями и подтвержденный г. Гаррисом факт, что висмут и сурьма при своем движении оказывают некоторое весьма слабое действие на подвешенный магнит, кажется на первый взгляд не соответствующими их проводимости; так ли это или не так — это должно быть решено дальнейшими опытами (73).¹ Эти металлы являются сильно кристаллическими и, вероятно, проводят электричество в различных направлениях с различной степенью легкости; вполне правдоподобно, что там, где масса (металла) составлена из некоторого числа гетерогенно соединенных кристаллов, может иметь место явление, близкое к настоящему

¹ В дальнейшем мне удалось объяснить эти различия и доказать, что для различных металлов явление находится в соответствии с проводимостью, так как мне удалось получить посредством магнито-электрической индукции токи электричества, по своей силе пропорциональные проводимости испытуемых веществ.

разрыву, или что токи электричества могут оказаться внезапно отклоненными на границах таких кристаллических образований; тогда они должны более быстро и полно разряжаться внутри массы.

Королевский институт.

Ноябрь 1831 г.

Примечание. Вследствие длительного промежутка времени, истекшего между прочтением предыдущего доклада и его печатанием, сведения об этих опытах успели распространиться и, при посредстве моего письма к г. Гашетту, достигли Франции и Италии. Письмо это было переведено (с некоторыми ошибками) и доложено в Академии Наук в Париже 26 декабря 1831 г. Копия его, опубликованная в *Le Temps* от 28 декабря, быстро попала к г. Нобили (*Nobili*), который совместно с г. Антинори (*Antinori*) сейчас же произвел соответствующие опыты и получил многие из упомянутых в моем письме результатов; некоторых результатов им не удалось получить или понять вследствие краткости моего сообщения. Полученные гг. Нобили и Антинори результаты составили предмет статьи, датированной 31 января 1832 г., и отпечатаны и опубликованы в номере *Antologia*, датированном ноябрем 1831 г. (по крайней мере, так можно заключить, судя по оттиску статьи, любезно присланному мне г. Нобили). Ясно, что работа тогда отпечатана быть не могла; и хотя г. Нобили включил в свою статью и мое письмо как основу для своих экспериментов, тем не менее, из-за датирования ее задним числом многие, знавшие об опытах Нобили только понаслышке, полагали, что его данные предшествовали моим, а не проистекали из них. При таких обстоятельствах да будет мне позволено заметить, что я экспериментировал по данному вопросу уже несколько лет и результаты уже опубликовал (см. *Quarterly Journal of Science* за июль 1825 г., стр. 338). Нижеследующее является выдержкой из моего дневника, датированной 28 ноября 1825 г.: «Опыты над индукцией с помощью соединительного провода гальванической батареи: батарея из четырех сосудов, десяти пар пластин, расположенных рядом с полюсами, соединенными проводом длиной приблизительно в четыре фута, параллельно которому располагался другой такой же провод, отделенный только двойным слоем бумаги и присоединенный своими концами к гальванометру: никакого действия не обнаружено, и т. д. и т. д. и т. д. Не удалось никоим образом обнаружить какой-либо индукции от соединительного провода». Причина наблюдавшейся в свое время неудачи теперь очевидна (79). —

Апрель 1832 г.

М. Ф.

В Т О Р А Я С Е Р И Я

Лекция имени Бэкера

Раздел 5. Земная магнито-электрическая индукция. Раздел 6. Общие замечания и пояснения относительно силы и направления магнито-электрической индукции.

Доложено 12 января 1832 г.

РАЗДЕЛ 5

Земная магнито-электрическая индукция

140. После того как были открыты основные факты, описанные в предыдущей статье, и установлен закон магнито-электрической индукции в отношении направления [токов] (114), нетрудно было представить себе, что земля может произвести такое же действие, как магнит, и притом в столь сильной степени, что, пользуясь этим действием, можно будет построить новые электрические машины. Нижеизложенное представляет собой некоторые результаты, полученные при развитии этой мысли.

141. Описанная выше полая спираль (6) соединялась с гальванометром посредством проводов длиной в восемь футов; цилиндр из мягкого железа (34), предварительно нагретый докрасна и медленно охлажденный для удаления следов магнетизма, был вставлен внутрь спирали таким образом, что он одинаково выдавался с обоих концов; в таком положении он был закреплен. Спираль вместе с стержнем оставались неподвижными в направлении магнетизма или линии наклонения, а затем (при неподвижной стрелке гальванометра) их повертывали таким образом,

чтобы нижний конец стал верхним, но чтобы вся система опять соответствовала направлению магнетизма; стрелка немедленно отклонилась. Когда стрелка возвратилась в начальное положение, спираль со стержнем снова переворачивалась; если это повторять два или три раза таким образом, чтобы переворачивания совпадали с колебаниями, стрелка раскачивается на угол в 150 или 160°.

142. Когда один конец спирали (назовем его *A*) был сначала наверху (конец *B*, следовательно, внизу), тогда не имело значения, в каком направлении она двигалась во время переворачивания вправо, влево или как-нибудь иначе; стрелка гальванометра неизменно отклонялась в одну и ту же сторону. И, наоборот, когда наверху был конец *B*, переворачивание спирали со стержнем в любом направлении всегда вызывало отклонение стрелки в одном и том же направлении, причем это направление было противоположно направлению отклонения в первом случае.

143. Когда находящуюся в любом данном положении спираль с ее железным сердечником переворачивали, то действие получалось такое же, как будто в переворачиваемую спираль сверху вводили магнит, направленный своим полюсом с меткой вниз. Пусть, например, конец *B* находится наверху; если тогда ввести такой магнит сверху, он заставит конец стрелки гальванометра с меткой отклониться к западу. Если же конец *B* находится внизу, а мягкое железо — на своем месте, то переворачивание всей системы также произведет то же самое действие.

144. Когда стержень из мягкого железа вынимали из спирали и поворачивали в различных направлениях на расстоянии четырех футов от гальванометра, то не обнаруживалось ни малейшего действия на последний.

145. Эти явления с необходимостью вытекают из индуктивной магнитной способности земли, превращающей цилиндр из мягкого железа в магнит, у которого полюс с меткой направлен вниз. Опыт аналогичен тому, в котором для намагничивания того же самого цилиндра в той же самой спирали (36) применялись два стержневых магнита; при этом переворачивание в настоящем

опыте равносильно перемене полюсов в том расположении. Результат, тем не менее, представляет собой пример получения электричества с помощью магнетизма земного шара.

146. Затем в магнитном направлении удерживалась все время одна только спираль, а цилиндр из мягкого железа вводился позже; стрелка гальванометра немедленно отклонялась; если убрать цилиндр, как только стрелка возвратится на место, и дальше производить обе операции сразу, то колебания вскоре доходят до угла в 180° . Действие оказывалось точно таким же, как в том случае, когда я пользовался цилиндрическим магнитом с направленным книзу полюсом с меткой; направление движения и т. д. — все было в полном согласии с результатами предшествующих опытов с таким магнитом (39). Если взять магнит и поставить его в такое же положение, то получается такое же отклонение, только более сильное. Если поставить спираль под прямым углом к направлению магнетизма или направлению стрелки наклона, то при введении и удалении цилиндра из мягкого железа на стрелку никакого действия не получается. При всяком отклонении от положения стрелки наклона получаются результаты такого же рода, как уже описанные, но их сила увеличивалась по мере приближения спирали к направлению стрелки наклона.

147. Хотя цилиндрический магнит и обладает в сильной степени способностью влиять на гальванометр при своем движении во внутрь спирали или из нее, но он не способен продлить отклонение (39), и поэтому, если его оставить внутри спирали, то магнитная стрелка сейчас же возвращается к своему обычному положению покоя. Но при повторении (с магнитом) опыта с переворачиванием в направлении стрелки наклона (141) наблюдалось такое же сильное влияние на стрелку, как и ранее; возмущение магнетизма в стальном магните, производимое индуктивной силой земли, оказалось таким образом близким, если не совсем равным, по величине и скорости, возмущению, производимому в мягком железе. Возможно, что таким путем магнито-электрические устройства могут оказаться полезными для обна-

ружения возмущения магнитных сил в тех случаях, когда другие способы неприменимы; ибо видимое действие производится не полной магнитной силой, а лишь разностью, вызываемой возмущающими причинами.

148. Эти благоприятные результаты позволили мне надеяться, что можно будет сделать ощутимой непосредственную магнито-электрическую индукцию земли; в конце концов, мне удалось получить это действие различными способами. Когда я помещал уже упомянутую спираль (141, б) в направлении стрелки магнитного наклона, но без всякого железного или стального цилиндра, а затем переворачивал ее, то наблюдалось лишь слабое действие на стрелку. Но, поворачивая спираль раз десять или двенадцать, и притом с таким периодом, чтобы отклоняющие силы, возбуждаемые получающимися в спирали токами электричества, складывались с действием инерции стрелки (39), колебания последней удавалось доводить до угла 80 и 90°. Здесь, таким образом, токи электричества производились непосредственно индуктивной способностью земного магнетизма, без всякого содержащего железо вещества, и притом в металле, не способном проявлять обычные магнитные явления. Опыт этот во всех отношениях воспроизводит те действия, которые получаются при поднесении той же спирали к одному или обоим полюсам какого-либо мощного магнита (50).

149. Руководясь данным ранее законом (114), я ожидал, что все электрические явления при вращении металлической пластинки теперь можно будет воспроизвести без всякого постороннего магнита, помимо земли. Столь часто упоминавшаяся пластинка (5) была поэтому укреплена таким образом, что могла вращаться в горизонтальной плоскости. Магнитные кривые земли (114, примечание), т. е. направление стрелки наклона, пересекали эту плоскость под углом около 70°; я считал, что это достаточно близко к перпендикулярности, и что магнито-электрическая индукция, которая здесь получится, будет достаточно сильна для того, чтобы возбудить ток электричества.

150. При вращении пластинки токи, согласно закону (114, 121), должны устремляться в направлении радиусов через все места пластинки, либо от центра к окружности, либо от окружности к центру, в зависимости от того, в каком направлении происходит вращение пластинки. Один из проводников гальванометра был поэтому приведен в соприкосновение с осью пластины, а другой присоединен к свинцовому коллектору или кондуктору (86), который, в свою очередь, был прижат к амальгамированному краю диска. При вращении пластинки наблюдалось отчетливое действие на стрелку гальванометра; при изменении направления вращения на обратное стрелка отклонялась в противоположном направлении, а если опыт производился так, чтобы действие пластины совпадало с колебаниями стрелки, дуга, которую проходила последняя, быстро возрастала до половины окружности.

151. Какой бы части края пластинки ни касался кондуктор, электричество получалось то же самое, если только направление вращения сохранялось неизменным.

152. Когда пластинка вращалась в направлении закручивания винта, иначе: по часовой стрелке, ток электричества (150) шел от центра к окружности; когда направление вращения было такое, как при вывинчивании винта, ток шел от окружности к центру. Направления эти суть те же, какие получались когда под вращающейся пластиной находился магнитный полюс без метки (99).

153. Когда пластинка находилась в плоскости магнитного меридиана или какой-нибудь другой плоскости, *совпадающей* с магнитным наклоением, тогда ее вращение не производило действия на гальванометр. Когда пластинка составляла с наклоением угол, равный всего нескольким градусам, при вращении начинало появляться электричество. Таким образом, при вертикальном положении пластинки в плоскости, перпендикулярной магнитному меридиану, т. е., когда ее собственная плоскость составляла с наклоением угол всего около 20° , при вращении пластинки получалось электричество. С возрастанием этого угла,

электричество становилось все сильнее, и наконец, когда угол, образуемый плоскостью пластинки с наклоном, достигал 90° ; электричество, при данной скорости вращения пластинки, достигало максимума.

154. Поразительно видеть, как вращающаяся пластинка становится таким образом новой электрической машиной; любопытные выводы вытекают из сравнения ее с обычной машиной. В последнем случае пластинка машины делается из наилучшего непроводника, какой можно иметь; в первом — из наиболее совершенного проводника; в одном случае изоляция существенна, в другом — она гибельна. В отношении количества получаемого электричества металлическая машина вовсе не стоит ниже стеклянной, так как она может давать постоянный ток, способный отклонять стрелку гальванометра, чего не может делать стеклянная. Правда, силу получаемого таким образом тока до сих пор не удалось увеличить настолько, чтобы сделать его пригодным для какого-нибудь из обычных применений этой силы; однако имеются все основания ожидать, что это можно будет осуществить в дальнейшем и, вероятно, различными способами. Каким бы слабым ни казался этот ток, он столь же силен, если не сильнее, чем термоэлектрический ток. В самом деле, он может проходить через жидкости (23), приводить в возбуждение животный организм, а если мы пользуемся электрическим магнитом, ток производит и искры (32).

155. Медный диск, толщиной в одну пятую дюйма и диаметром всего в полтора дюйма, был амальгамирован по краю; в квадратном куске листового свинца (медь была бы лучше) такой же толщины было вырезано круглое отверстие, в которое диск входил свободно; небольшое количество ртути служило для контакта между диском и окружающим его кольцом; последнее было присоединено к одному из проводов гальванометра, а другой провод был опущен в маленькую металлическую чашечку с ртутью, укрепленную на нижнем конце медной оси малого диска. Вращая диск в горизонтальной плоскости, удавалось получить действие на стрелку гальванометра, хотя единственным участвующим

щим в опыте магнитом была земля, а радиус диска не превосходил трех четвертей дюйма; ток возбуждался только на этом протяжении.

156. Помещая под вращающийся диск полюс магнита, удавалось получить постоянное отклонение стрелки.

157. Если для опыта брались медные провода толщиной в одну шестую дюйма, вместо более тонких проволок, неизменно употреблявшихся до сих пор (86), получались гораздо более мощные действия. Может быть, если бы гальванометр состоял из меньшего числа витков толстой проволоки, а не из большого числа витков более тонкой, то получались бы еще более поразительные действия.

158. Я предполагаю изготовить прибор такого вида, чтобы в нем были расположены друг над другом несколько дисков; диски должны быть металлически соединены помощью ртути попеременно у краев и у центров, и затем должны вращаться в попеременно противоположных направлениях, т. е. первый, третий, пятый и т. д. — вправо, а второй, четвертый, шестой и т. д. — влево; при этом вся машина должна быть расположена так, чтобы диски были перпендикулярны к направлению стрелки наклона или пересекали магнитные кривые сильных магнитов под углом, возможно более близким к прямому. В одной серии дисков электричество будет направлено от центра к окружности, а в дисках, расположенных по обе стороны от первых, — от окружности к центру; таким образом действие всей системы будет согласно создавать один общий и более сильный ток.

159. Однако я интересовался больше открытием новых фактов и новых соотношений, зависящих от магнито-электрической индукции, чем повышением силы уже имеющихся, так как я был уверен, что эти последние найдут впоследствии свое полное развитие.

160. В моем предшествующем докладе я указывал на вероятную роль земной магнито-электрической индукции (137) при создании, целиком или частью, явлений, наблюдавшихся

гг. Кристи и Барлоу,¹ при вращении содержащих железо тел; это касается в особенности тех явлений, которые наблюдались последним ученым при быстром вращении полого железного шара и которые приписывались им изменению обычного распределения магнетизма шара. Я также высказал тогда предположение, что вращение медного шара, по всей вероятности, позволит отделить действия, вызываемые электрическими токами, от действий, вызываемых перераспределением магнетизма, и прольет свет на истинную природу этих явлений.

161. Если иметь в виду упомянутый выше закон (114), то представляется невероятным, чтобы металлический шар мог вращаться в естественной обстановке без того, чтобы в нем создавались электрические токи: последние должны обтекать его в плоскости, расположенной под прямым углом к плоскости вращения, если только ось вращения не совпадает с направлением стрелки наклона. Казалось, что наиболее сильными токи будут тогда, когда ось вращения перпендикулярна к стрелке наклона, потому что тогда все места шара, лежащие ниже плоскости, проходящей через его центр и перпендикулярной к стрелке наклона, будут при своем движении пересекать магнитные кривые в одном направлении, а все места, лежащие выше этой плоскости, будут пересекать их в противоположном направлении; таким образом в этих движущихся частях будут существовать токи, идущие от одного полюса вращения к другому, но токи наверху будут направлены обратно нижним токам и в соединении с ними создадут непрерывный круговорот электричества.

162. Поскольку электрические токи в шаре нигде не прерываются, я ожидал сильных действий и намеревался получить их с помощью простых приборов. Шар, которым я пользовался, был из латуни; он был взят со старой электрической машины, был полый, тонкий (слишком тонкий) и имел четыре дюйма в диа-

¹ Christie, *Philosophical Transactions*, 1825, стр. 58, 347 и сл.; Barlow, *Philosophical Transactions*, 1825, стр. 317.

метре; в него была ввинчена латунная проволока, и шар приводился во вращение рукой через проволоку, а иногда, в целях большей устойчивости, проволокой держался в отверстии, проделанном в куске дерева; движение производилось опять-таки от руки. Покуда шар находился в покое, он не обнаруживал никаких следов магнетизма.

163. Для обнаружения токов я взял сложную магнитную стрелку. Она была устроена следующим образом: у швейной иглы были отломаны ушко и острие; затем она была намагничена и разломана пополам; полученные таким образом два магнита были укреплены на сухой соломинке перпендикулярно к ней и на расстоянии примерно четырех дюймов друг от друга; оба они были расположены в одной плоскости, но одноименными полюсами в прогивоположные стороны. Соломинка была прикреплена к нитке некрученого шелка, длиной приблизительно в шесть дюймов, а нитка — к палочке, проходившей через пробку, вставленную в горлышко цилиндрической банки; таким образом получалась сложная система, совершенно защищенная от движения воздуха; магнетизм земли влиял на нее лишь в слабой степени, но она, тем не менее, была высокочувствительна к магнитным и электрическим силам, когда последние подносились близко к одной или другой стрелке.

164. Стрелки были установлены в плоскости магнитного меридиана, а шар расположен снаружи стеклянной банки к западу от стрелок и на такой высоте, что его центр находился на одной горизонтали с верхней стрелкой; ось его проходила в плоскости магнитного меридиана, но перпендикулярно направлению стрелки наклона. Когда шар приводился во вращение, немедленно обнаруживалось действие на стрелку. При изменении направления вращения стрелка тоже испытывала действие, но в обратном направлении. Когда шар вращался в направлении с востока на запад, полюс с меткой отклонялся к востоку; при вращении шара в противоположном направлении, полюс с меткой отклонялся к западу или по направлению к шару. Когда шар был расположен к востоку от стрелки, стрелка все же отклонялась в преж-

нем направлении, т. е. при вращении шара с востока на запад полюс с меткой отклонялся к востоку (или по направлению к шару); при вращении в противоположном направлении полюс с меткой отклонялся к западу.

165. Закручиванием шелкового подвеса стрелки были поставлены в положение, перпендикулярное плоскости магнитного меридиана; шар снова был приведен во вращение, причем ось его была параллельна стрелкам; верхняя испытывала такое же действие, как и ранее, и характер отклонения указывал, что в этом, как и в первом случае, стрелка находилась исключительно под влиянием токов электричества, существующих в латунном шаре.

166. Будем верхнюю часть шара рассматривать как провод, движущийся с востока на запад над земным полюсом без метки; тогда ток электричества в нем должен идти с севера на юг (99, 114, 150); если нижнюю часть рассматривать как такой же провод, движущийся над тем же самым полюсом с запада на восток, то электрический ток должен идти с юга на север, и поэтому в наших широтах путь электричества в металлическом шаре, вращающемся в направлении с востока на запад, должен быть: вверх — с севера к югу, а внизу — обратно к северу. А такие именно токи требуются для сообщения стрелке указанных отклонений в описанных выше опытах; так что совпадение теории, на которой были основаны опыты, с самими опытами, оказывается полное.

167. При значительном наклоне оси вращения оказывалось, что вращающийся шар все еще действует на магнитную стрелку; и только тогда, когда угол, образуемый осью и направлением магнитногоклонения, становился малым, действие шара, даже на этот прибор, исчезало (153). Очевидно, что при вращении вокруг оси, параллельной направлению стрелки наклонения, шар становится аналогичным медной пластинке; электричество одного рода можно собирать на его экваторе, а другого рода — на полюсах.

168. Такой ток в шаре, какой описан выше (161), должен отклонять стрелку одинаково, независимо от того, где она нахо-

дится: по правую или по левую сторону от шара и оси вращения; но когда стрелка находится один раз выше, а другой раз ниже шара, то он должен отклонять ее в противоположные стороны, так как тогда ток действует или должен бы действовать на стрелку в противоположных направлениях. Это предположение подтвердилось при вращении шара под намагниченной стрелкой, причем последняя оставалась заключенной в сосуде. Когда шар вращался в направлении с востока на запад, полюс стрелки с меткой отклонялся не к востоку, а к западу; а когда шар вращался в направлении с запада на восток, полюс с меткой отклонялся к востоку.

169. Полученные таким образом с латунным шаром отклонения магнитной стрелки имеют точно такое же направление, как отклонения, наблюдавшиеся г. Барлоу при вращении железного шара, и судя по тому, что железо, подобно всякому другому металлу, обнаруживает явления магнито-электрической индукции, отличные от присущих ему магнитных явлений (132), невозможно, чтобы в этих опытах не возбуждались и не действовали электрические токи. Какая именно часть всего действия объясняется этой причиной, это должно быть решено путем более подробного изучения всех явлений.

170. Эти результаты, в связи с вышеустановленным общим законом (114), навели меня на чрезвычайно простой опыт, который, однако, несмотря на его простоту, при испытании оказался вполне отвечающим делу. Благодаря устранению всяких посторонних обстоятельств и всякой сложности уставки, а также благодаря отчетливости получаемых показаний, этот один опыт содержит в себе почти все факты в области магнито-электрической индукции.

171. Кусок обыкновенной медной проволоки длиной около восьми футов и толщиной в одну двадцатую дюйма одним своим концом был прикреплен к одному из концов цепи гальванометра, а другим — к другому концу; таким образом проволока составляла бесконечное продолжение цепи гальванометра; потом она была кое-как согнута в виде прямоугольника или, вернее, петли, и верхнюю часть этой петли можно было перемещать над гальва-

нометром взад и вперед; при этом нижняя часть со связанным с ней гальванометром оставалась в покое (рис. 30). При перемещении этой петли над гальванометром справа налево магнитная стрелка немедленно отклонялась; при обратном перемещении петли стрелка отклонялась в направлении, противоположном тому, в котором она отклонялась раньше: если повторять эти перемещения петли, согласно с колебаниями стрелки (39), эта последняя быстро раскачивается на 90° и более.

172. Соотношение между током электричества, создаваемым в проводнике, и движением последнего можно себе уяснить, если предположить, что вигков гальванометра нет, а провод

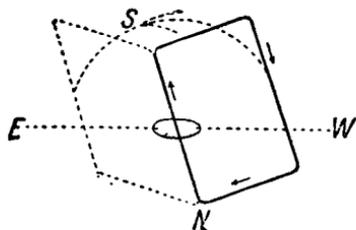


Рис. 30.

согнут в виде прямоугольника, что его нижняя сторона расположена горизонтально в плоскости магнитного меридиана, и сверху как раз над серединой этой стороны подвешена магнитная стрелка, направляемая землей (рис. 30). При передвижении верхней части прямоугольника с запада на восток в положение, изобра-

женное пунктиром, меченый полюс магнитной стрелки отклонялся к западу; следовательно, электрический ток был направлен с севера на юг в месте проводника, проходящем под стрелкой, и с юга на север в движущейся, т. е. верхней стороне, параллелограмма. При движении верхней части прямоугольника над гальванометром с востока на запад полюс с меткой отклонялся к востоку; следовательно, ток электричества был направлен обратно первоначальному.

173. Если прямоугольник был расположен в плоскости восток — запад, а магнитная стрелка установлена параллельно ей либо закручиванием подвесной нити, либо действием магнита, общий характер действий оставался прежним. При перемещении верхней стороны прямоугольника с севера на юг, меченый полюс стрелки отклонялся к северу; когда проводник двигался в про-

типоволожном направлении, меченый полюс отклонялся к югу. Такое же действие имело место при движении проводника во всяком другом азимуте относительно линии наклонения; при этом направление тока находилось всегда в согласии с ранее установленным (114) законом, а также с направлениями, которые получались при вращении шара (164).

174. В этих опытах нет необходимости выводить гальванометр или стрелку из их начального положения. Вполне достаточно сгибать проволоку прямоугольника в том месте, где она выходит из прибора, и поворачивать ее так, чтобы подвижная верхняя сторона могла перемещаться в желаемом направлении.

175. Подвижная часть проводника была затем помещена под гальванометром, но так, чтобы она перемещалась перпендикулярно направлению стрелки наклонения. Она действовала на прибор, как и ранее, и в том же направлении, т. е. при перемещении ее под прибором с запада на восток меченый конец стрелки попрежнему отклонялся к западу. Так, конечно, и должно было быть, ибо когда провод пересекает магнитное наклонение в определенном направлении, в нем должен индуцироваться и электрический ток определенного же направления.

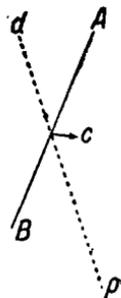


Рис. 31.

176. Пусть на рис. 31 dp параллельно наклонению, а BA будем считать верхней стороной прямоугольника (171) с прикрепленной к ней стрелкой c ; пусть и та и другая удерживаются в плоскости, перпендикулярной наклонению; тогда, как бы провод BA с прикрепленной к нему стрелкой ни поворачивался вокруг dp как оси, если только он будет в дальнейшем перемещаться в направлении стрелки, ток электричества будет идти вдоль него в направлении от B и A .

177. Если перемещать подвижную часть провода вверх и вниз параллельно наклонению, никакого действия на гальванометр не возникает. Если направление движения составляет небольшой угол с наклонением, электричество обнаруживается; оно дости-

гает максимума, когда движение перпендикулярно к направлению магнетизма.

178. Если проводу придавалась другая форма и он перемещался, то получались действия такой же силы, особенно когда его сгибали не в виде прямоугольника, а в виде двойной цепной линии по одну сторону гальванометра, и обе отдельные кривые или половины одновременно приводились в качания в противоположных направлениях; тогда их действия на гальванометр складывались; но все результаты можно было свести к описанным выше.

179. Чем длиннее движущийся провод и чем большее пространство он проходит при своем движении, тем сильнее действие на гальванометр.

180. Ввиду легкости, с которой электрические токи создаются в металлах, перемещаемых под влиянием магнита, в дальнейшем при экспериментировании с металлами и магнитами всегда должно будет принимать предосторожности для избежания подобных действий. Учитывая универсальность магнитного влияния земли, мы приходим к заключению, которое может показаться весьма странным, а именно: вряд ли можно перемещать какой-либо кусок металла, находящийся в контакте с другими, — все равно, находящимися в покое или движущимися с отличными скоростями или в отличных направлениях, — без того, чтобы в них не проходил электрический ток. Возможно, что среди установок паровых машин и металлических конструкций могут встретиться любопытные случайные магнито-электрические комбинации, создающие действия, которые никогда не наблюдались или, если и были замечены, *до сих пор не находили* себе объяснения.

181. При рассмотрении только что описанных явлений земной магнито-электрической индукции почти невозможно не поддаться мысли, что подобные действия, но бесконечно более сильные, могут создаваться действием земного шара как магнита на его собственную массу, вследствие его суточного вращения. Можно было бы думать, что если в наших широтах поместить металлический стержень на поверхности земли, параллельно магнитному

меридиану, то вследствие перемещения стержня с запада на восток (172), благодаря вращению земли, сквозь него устремится ток электричества в направлении с юга на север; что если второй стержень, расположенный в том же направлении, соединить с первым с помощью проводов, то он не сможет разряжать ток от первого, так как он одинаково с первым стремится к тому, чтобы через него шел ток того же направления, в нем индуцированный; но если второй стержень переносить с востока на запад, что равносильно замедлению движения, сообщаемого ему землей (172), то электрический ток с юга на север в первом стержне станет явным вследствие одновременного разряда его через второй стержень.

182. Если предположить, что вращение земли стремится создавать посредством магнито-электрической индукции токи в ее массе, то последние в соответствии с законом (114) и опытами были бы направлены, по крайней мере на поверхности, от мест, расположенных по соседству или вблизи плоскости экватора, в противоположные стороны к полюсам; и если бы можно было приложить к экватору и к полюсам коллекторы, как это было сделано с вращающейся медной пластиной (150), а также с магнитами (220), то отрицательное электричество собиралось бы на экваторе, а положительное — на обоих полюсах (222). Однако за отсутствием кондукторов или чего-нибудь равнозначного, эти токи, очевидно, не могут существовать, поскольку они не имеют возможности разрядиться.

183. Я считал вполне возможным, что между телами может существовать некоторое естественное различие в отношении интенсивности токов, которое создает или стремится создать в них магнито-электрическая индукция; различие это может быть выявлено сравнением этих тел, особенно поскольку гг. Араго, Бэббедж, Гершель и Гаррис согласно нашли большие различия не только между металлами и другими веществами, но даже между различными металлами, в отношении их способности приходить в движение или сообщать движение магниту в опытах с вращением (130). Поэтому я взял два проводника по сто двадцать футов

длиною каждый, один железный, а другой медный. Провода были соединены друг с другом концами и затем протянуты в направлении магнитного меридиана таким образом, что образовалось две почти параллельные линии, нигде кроме концов не соприкасающиеся. Медный проводник был затем разрезан посередине и исследован с помощью чувствительного гальванометра, но никаких признаков электрического тока получено не было.

184. Благодаря любезности Его Королевского Высочества, президента Общества, я получил разрешение Его Величества произвести опыты на озере в садах Кенсингтонского дворца (Kensington Palace) в целях сравнить таким же путем воду и металл. Бассейн этого озера искусственный, вода подается Чельсийской компанией; никакие источники в него не втекают, и оно представляет собой именно то, что мне требовалось: однородную массу спокойной чистой воды с берегами, которые тянутся почти точно с востока на запад и с севера на юг.

185. Две очень тщательно очищенные медные пластины, имеющие каждая поверхность в четыре квадратных фута, были припаяны к концам медного провода; пластины были погружены в воду к северу и к югу одна от другой; соединявший их провод был размещен на лужайке на берегу. Пластины находились примерно на расстоянии четырехсот восьмидесяти футов друг от друга по прямой линии; провод имел, вероятно, шестьсот футов в длину. Этот провод был затем разрезан посередине и соединен посредством двух чашечек ртути с чувствительным гальванометром.

186. Сначала получались указания на существование электрических токов; однако при испытании путем перемены направления контакта и другими способами оказалось, что токи вызываются не ожидаемой, а другими причинами. Небольшая разность температур, минимальное количество азотнокислой ртути, употреблявшейся для амальгамирования проводов и попавшей в воду, служащую для поддержания двух чашек ртути при одной и той же температуре — этого уже было достаточно для того, чтобы образовались токи электричества, которые действовали на

гальванометр, несмотря на то, что им надо было пройти примерно через пятьсот футов воды. Когда против этих и других источников ошибок были приняты меры, то никакого действия не стало получаться, и оказалось, что даже такие не сходные между собой вещества, как вода и медь, при пересечении с одинаковой скоростью магнитных кривых земли, совершенно нейтрализуют одно действие другого.

187. Г-н Фокс из Фальмута получил некоторые весьма важные результаты относительно электричества металлосодержащих жил Корнваллийских копей, опубликованные в *Philosophical Transactions*.¹ Я просмотрел статью, чтобы проверить, нельзя ли некоторые из явлений приписать магнито-электрической индукции; однако, хотя я не могу составить себе совершенно определенного мнения, но думаю, что это не так. При сравнении параллельных жил, идущих с востока на запад, основное стремление электричества в *проводах* было с севера на юг; когда сравнение производилось между участками вблизи поверхности и на некоторой глубине, ток электричества в проводах был направлен сверху вниз. Если бы существовало какое-либо естественное различие в силе электрических токов, образуемых магнито-электрической индукцией в различных веществах или в веществах, движущихся вместе с землей в различных положениях, и если бы его можно было выявить путем увеличения подвергаемых действию масс, то провода и жилы, с которыми производил опыты г. Фокс, может быть, могли бы действовать, как разрядники для электричества массы заключенных между ними пластов, и направление токов совпадало бы с наблюдавшимися как выше направлениями.

188. Хотя электричество, полученное с помощью магнито-электрической индукции в нескольких футах проволоки, обладает лишь малой интенсивностью и до сего времени наблюдалось лишь в металлах и в угле, в особой модификации его, тем не менее, оно обладает способностью проходить через раствор поваренной соли (23), и поскольку увеличение длины подвергаемого действию

¹ 1830, стр. 399.

тела влечет за собой увеличение интенсивности, я надеялся получить действие от обширных движущихся масс воды, хотя неподвижная вода их не давала. Поэтому, с особого разрешения, я произвел опыты у Ватерлооского моста, протянув медный провод длиною девятьсот шестьдесят футов по перилам моста и опустив от его концов другие провода с прикрепленными к ним большими металлическими пластинами для образования контакта с водой. Таким образом провод и вода составляли одну проводящую цепь, и поскольку вода прибывала и убывала с приливом и отливом, я надеялся получить токи, аналогичные токам в латунном шаре (161).

189. Я постоянно получал отклонения гальванометра, но они были очень неправильны, и я впоследствии отнес их к причинам, отличным от исследуемой. Различная степень чистоты воды у двух берегов реки, разность температур, небольшое различие в пластинах, в применяемом припое, в большем или меньшем совершенстве соединения, получаемом при скручивании или каким-нибудь другим способом, — все это производило, одно за другим, свое действие; я производил опыты над водой, проходящей только через средние пролеты моста, употреблял платиновые пластины вместо медных и принимал всякие другие предосторожности, но все-таки мне не удавалось в течение трех дней получить никаких удовлетворительных результатов.

190. С теоретической точки зрения представляется: где только течет вода, там обязательно должны возникать электрические токи. Так, если мысленно провести прямую, проходящую из Дувра в Калэ через море и возвращающуюся в Дувр по морскому дну, то она вычертит замкнутую цепь проводящих веществ, одна часть которой при движении воды вверх или вниз по проливу пересекает магнитные кривые земли, тогда как другая находится относительно в покое. Это есть повторение опыта с проводом (171), но с худшими проводниками. Тем не менее, есть все основания полагать, что электрические токи в основном протекают в направлении описанной цепи в ту или иную сторону в соответствии с тем, как проходит вода по проливу: вверх или вниз. Нет ни-

чего невероятного, что при значительном увеличении размеров движущейся воды в широтном направлении, явление могло бы стать заметным; возможно, что Гольфштрем таким образом благодаря движущимся поперек него электрическим токам, производимым магнито-электрической индукцией земли, может оказывать заметное влияние на форму линий магнитной вариации.¹

191. Хотя до сих пор действие земли на воду и водные растворы не дало положительных результатов, тем не менее, поскольку такие опыты сильно ограничены по размерам и поскольку в подобных жидкостях производить ток с помощью искусственных магнитов возможно (23), — ибо передача тока является доказательством того, что он может быть произведен (213), — постольку сделанное ранее предположение, что земля создает эти индуцированные токи в самой себе (181) вследствие своего суточного вращения, является все же весьма вероятным (222, 223). И если принять во внимание, что движущиеся массы простираются на тысячи миль поперек магнитных кривых, пересекая их в различных направлениях как внутри массы земли, так и на ее поверхности, то представляется возможным, что электричество может достигать значительной интенсивности.

192. Даже в самой гипотетической форме я не осмеливаюсь задать вопрос, не представляют ли собой северное и южное сияния разряд электричества, оттесненный таким образом к полюсам, откуда он стремится возвратиться естественным и предуказанным образом над землей в экваториальные области. Отсутствие сияний в очень высоких широтах отнюдь не противоречит этому предположению: и замечательно, что г. Фокс, который в Фальмуте наблюдал отклонение магнитной стрелки северным сиянием, дает направление, которое совершенно согласуется с настоящей точкой зрения. Он сообщает, что ночью все магнитные вариации

¹ Теоретически даже в корабле или шлюпке, перемещающихся по поверхности воды в северных или южных широтах, должны иметь место токи электричества, протекающие через них прямо поперек направления их движения; когда вода течет мимо корабля, стоящего на якоре, то также должны возникать подобные токи.

были по направлению к востоку,¹ а это и должно иметь место, если электрические токи направляются с юга на север в земле под стрелкой или с севера на юг в пространстве над ней.

РАЗДЕЛ 6

Общие замечания и пояснения относительно силы и направления магнито-электрической индукции

193. Гг. Бэббедж, Гершель и Гаррис повторяли и видоизменяли опыты Араго; при этом указанные ученые направили свое внимание на наблюдавшиеся у металлов и других веществ различия в силе их действия на магнит. Эти различия были весьма значительны² и позволили мне надеяться, что путем механического соединения различных металлов можно будет получить существенные результаты. Поэтому были произведены следующие опыты с целью обнаружить, если возможно, какие-либо подобные различия в действии двух металлов.

194. Кусок каркасной проволоки из мягкого железа, покрытой бумагой, был обнажен и зачищен на одном конце, а затем соединен металлическим контактом с зачищенным концом медного провода. Оба провода были затем скручены вместе, как в канате, на протяжении восемнадцати — двадцати дюймов, а оставшиеся части были направлены врозь и соединены с проводами гальванометра. Железная проволока имела в длину около двух футов, а продолжение ее к гальванометру было из меди.

195. Скрученные медь и железо (нигде, кроме концов, не соприкасающиеся) были затем перемещаемы между полюсами сильного подковообразного магнита (рис. 32); однако ни малейшего действия на гальванометр не наблюдалось, хотя, казалось бы, устройство было пригодно для обнаружения электрического различия между двумя металлами в отношении действия на них магнита.

¹ Philosophical Transactions, 1831, стр. 202.

² Philosophical Transactions, 1825, стр. 472; 1831, стр. 78;

196. Цилиндр из мягкого железа был затем покрыт в средней части бумагой, и вокруг него была намотана в виде спирали скрученная часть вышеупомянутого составного провода; соединения с гальванометром были попрежнему сделаны на концах *A* и *B*. Затем железный цилиндр был приведен в соприкосновение с полюсами сильного магнита, который мог поднимать тридцать фунтов; тем не менее, гальванометр не обнаружил никаких признаков электричества. При замыкании и размыкании контакта были приняты все меры предосторожности для того, чтобы получить накопление действия, но никаких указаний на наличие тока получить не удалось.

197. Подобным образом (194) были испытаны медь и олово, медь и цинк, олово и цинк, олово и железо, но ни малейших признаков электрического тока получить не удалось.

198. Две плоские спирали, одна из меди и другая из железа, содержащие каждая по восемнадцать дюймов проволоки, были соединены друг с другом и с гальванометром и затем поставлены друг

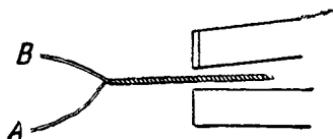


Рис. 32.

против друга в противоположных направлениях. При поднесении их к магнитному полюсу (53) не наблюдалось электрических действий на гальванометр. Когда одна из спиралей была повернута таким образом, чтобы обе имели одинаковое направление, то действие на гальванометр становилось очень сильным.

199. Описанная ранее (8) составная спираль из медной и железной проволоки была устроена в виде двойной спирали, причем одна спираль была целиком из железа и содержала двести четырнадцать футов, а другая — из меди и содержала двести восемь футов проволоки. Два подобных конца *AA* медной и железной спиралей были соединены друг с другом, а другие концы *BB* каждой спирали были присоединены к гальванометру; таким образом при введении магнита в центр системы индуцированные в железе и меди токи должны протекать в проти-

в противоположных направлениях. Тем не менее, когда в спираль вносились магнит или когда находящийся внутри стержень из мягкого железа намагничивался соприкосновением с полюсами, действия на стрелку не возникало.

200. Стекло́нная трубка длиной около четырнадцати дюймов была наполнена крепкой серной кислотой. Конец защищенной медной проволоки на протяжении двенадцати дюймов был согнут в виде мотка и засунут в трубку так, чтобы образовать хороший поверхностный контакт с кислотой, а остальная часть проволоки проходила вдоль наружной поверхности трубки и уходила к гальванометру. Вторая согнутая на конце таким же образом проволока была погружена с другого конца в серную кислоту и также соединена с гальванометром, так что кислота и медный провод в этом опыте были расположены также параллельно друг другу, как железо и медь в первом опыте (194). Когда трубку и провод перемещали подобным же образом между полюсами магнита, ни малейшего действия на гальванометр заметить не удавалось.

201. Из этих опытов как будто явствует, что когда соединенные в одну цепь металлы разного рода подвергаются во всех отношениях одинаково действию магнито-электрической индукции, то они представляют совершенно одинаковые свойства по отношению к тем токам, которые в них возникают или стремятся возникнуть. То же самое, повидимому, справедливо также и по отношению к жидкостям и, вероятно, по отношению ко всем другим веществам.

202. Казалось невозможным, чтобы при этих результатах можно было думать о различной индуктивной способности магнита по отношению к различным металлам; в самом деле, что действие находится в некоторой связи с проводимостью, это казалось необходимым следствием (139); было найдено также, что влияние вращающихся пластин на магниты в общем связано с проводимостью служившего для опытов вещества.

203. В опытах с вращением (81) электрический ток возбуждается и замыкается в одном и том же веществе, независимо от

того, является оно хорошим или плохим проводником; в описанных же здесь опытах ток, возбужденный в железе, может передаваться только через медь, а ток, возбужденный в меди, должен проходить через железо, т. е. если предположить, что в металлах образуются токи различной силы, пропорциональные их проводимостям, то более сильный ток должен проходить по худшему проводнику, а более слабый — по лучшему.

204. Поэтому были произведены опыты, в которых между полюсами магнита продвигались различные изолированные друг от друга металлы, причем противоположные концы их были соединены с одним и тем же концом проводника гальванометра, вследствие чего возникающие и отводимые к гальванометру токи должны были противодействовать друг другу; и когда опыты производились с различными проводниками значительной длины, то наблюдались слабые отклонения.

205. Для получения вполне удовлетворительных результатов был заново изготовлен гальванометр, состоящий из двух не зависящих друг от друга катушек, содержащих каждая по восемнадцать футов обернутой шелком медной проволоки. Эти катушки были совершенно одинаковы по форме и по числу витков и были укреплены рядом, с небольшим зазором между ними; в этом зазоре можно было подвесить на шелковой нити точно такую же двойную стрелку, как в первом приборе (87). Катушки для различения их обозначим буквами *K* и *L*; при пропускании через них электрических токов одного и того же направления, на стрелку действовала сумма их сил, а при токах противоположного направления — разность их сил.

206. Составная спираль (199, 8) была затем присоединена так, что концы *A* и *B* железной проволоки соединялись с концами *A* и *B* катушки *K* гальванометра, а концы *A* и *B* медной проволоки — с концами *B* и *A* катушки *L* гальванометра, так что токи, возбуждаемые в двух спиралях, должны были проходить через катушки *K* и *L* в противоположных направлениях. При введении внутрь спирали небольшого цилиндрического магнита стрелка гальванометра сильно отклонялась. Если выключить железную

катушку, магнит с одной только медной катушкой вызывает еще более сильное отклонение в том же самом направлении. Если вновь включить железную катушку и выключить медную, магнит вызывает незначительное отклонение в противоположном направлении. Таким образом было очевидно, что электрический ток, индуцированный магнитом в медном проводе, значительно сильнее тока, индуцированного тем же магнитом в таком же железном проводе.

207. Для предотвращения всякой ошибки, могущей возникнуть в результате более сильного влияния одной катушки, по сравнению с другой, на стрелку вследствие близости или других обстоятельств, выводы железной и медной спиралей были переставлены по отношению к катушкам гальванометра *K* и *L*, так что катушка, которая ранее получала ток от медной, проводила теперь ток от железной, и наоборот. Однако было обнаружено такое же резкое превосходство меди, как и ранее. К такой же предосторожности я прибегал в остальных опытах, которые производились с другими металлами

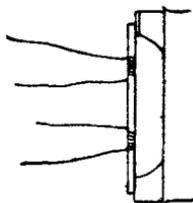


Рис. 33.

и которые будут описаны в дальнейшем.

208. Затем я брал проводники из железа, цинка, меди, олова и свинца, протянутые до одного и того же диаметра (очень близкого к одной двадцатой дюйма), и сравнивал попарно совершенно одинаковые отрезки, а именно по шестнадцать футов каждого, следующим образом: концы медного проводника были присоединены к концам *A* и *B* катушки *K* гальванометра, а концы цинкового проводника — к выводам *A* и *B* катушки *L* гальванометра. Затем средняя часть каждого проводника была шесть раз обернута вокруг покрытого бумагой цилиндра из мягкого железа, такой длины, чтобы им можно было соединять полюсы подковообразного магнита Даниэля (59) (рис. 33); две одинаковые спирали из меди и цинка, по шесть витков каждая, окружали стержень в местах, равно отстоящих друг от друга и от полюсов магнита; но эти спирали были умышленно установлены в противо-

положных направлениях и таким образом подавали противоположные токи в катушки K и L гальванометра.

209. При замыкании и размыкании контакта между стержнем из мягкого железа и полюсами магнита получалось резкое действие на гальванометр; если отключался цинк, действие на гальванометр в том же направлении было еще более резким. По принятии всех ранее указанных (207) и других мер предосторожности было вполне доказано, что ток, индуцируемый магнитом в меди, значительно сильнее, чем в цинке.

210. Затем медь таким же способом сравнивалась с оловом, свинцом и железом и оказалась превосходящей их всех, даже в большей степени, чем она превосходила цинк. Цинк был затем сравнен экспериментально с оловом, свинцом и железом и оказался способным производить более сильный ток, чем каждый из этих металлов. Подобным же образом железо оказалось превосходящим олово и свинец; следующим шло олово, а последним — свинец.

211. Итак, порядок, в котором идут металлы, таков: медь, цинк, железо, олово и свинец. Точь-в-точь таков же их порядок по отношению их электрической проводимости и, за исключением железа, таков же порядок в опытах по магнитному вращению, произведенных гг. Бэббеджем, Гершелем, Гаррисом и др. В последнего рода опытах железо проявляет дополнительную силу, благодаря своим обычным магнитным свойствам, и место его в отношении магнито-электрического действия исследуемого сейчас типа такими опытами установлено быть не может. Описанным выше способом место это может быть определено точно.¹

212. Надо, тем не менее, отметить, что в этих опытах полное действие между различными металлами не обнаруживается;

¹ Г. Кристи, который был назначен докладчиком по этой статье и получил ее в свое распоряжение ранее, чем она была закончена, сам подумал об этом затруднении (202); для собственного успокоения он произвел опыты над железом и медью с большим магнитом (44) и пришел к тем же заключениям, что и я. Эти две серии опытов были совершенно независимы друг от друга, так как ни один из нас не был осведомлен о действиях другого:

в самом деле, из тридцати четырех футов провода, включенного в каждую из цепей, восемнадцать футов в обеих состояли из меди, представляя собой проволоку катушек гальванометра; а так как на результирующую силу тока влияет вся цепь, то это обстоятельство должно стремиться уменьшить разницу, которая проявлялась бы между металлами, если бы цепи состояли целиком из одного и того же вещества.

В данном случае полученное различие представляет собой, вероятно, не более половины того, которое получилось бы, если бы каждая цепь состояла целиком из одного металла.

213. Эти результаты направлены к подтверждению того, что токи, образуемые магнито-электрической индукцией в телах, пропорциональны проводимости этих последних. Что они в точности пропорциональны проводимости и полностью от нее зависят, доказано, я полагаю, той полной нейтральностью, которая имеет место, когда два металла или два других вещества, как кислота, вода и т. д. и т. д. (201, 186), противопоставлены друг другу в их действии. Слабый ток, который стремился возникнуть в худшем проводнике, встречает более благоприятные условия для своего прохождения в лучшем проводнике, а интенсивность более сильного тока, который стремится образоваться в последнем, ослабляется сопротивлением первого проводника; сила, создающая ток, и сила, сопротивляющаяся ему, так строго уравновешены, что в точности нейтрализуют друг друга. А поскольку сопротивление обратно пропорционально проводимости, то для того, чтобы создать это строгое равновесие, стремление к зарождению тока должно быть прямо пропорционально производящей его силе.

214. Теперь становится простой и очевидной причина равенства действия в описанных выше различных случаях, когда друг с другом соединялись большие количества провода (183) или провода и воды (184), которые, однако, производили столь различные действия на магнит.

215. Там, где обычный магнетизм не играет роли, все действия вращающегося вещества на стрелку или магнит должны быть

прямо пропорциональны проводимости этого вещества; и теперь я беру на себя смелость предсказать, что это окажется справедливым в действительности и что во всех тех случаях, в которых это особое действие приписывалось непроводникам, движение было обусловлено какой-нибудь посторонней причиной обычного рода, как то: механическая передача движения через части прибора или другим путем (как в случае, приводимом г. Гаррисом)¹ или же обычные магнитные притяжения. Чтобы отличить действие последних от действий, вызываемых индуцированными электрическими токами, я придумал очень удачный решающий опыт, который будет описан ниже (243).

216. Имеются все основания думать, что стержневой магнит или же магнитная стрелка окажутся превосходными средствами для измерения проводимости вращающихся вблизи них веществ; действительно, путем тщательных опытов я нашел, что при пропускании постоянного тока последовательно через ряд проводов из меди, платины, цинка, серебра, свинца и олова, протянутых до одинакового диаметра, отклонения стрелки во всех случаях оказывались в точности одинаковыми. Следует припомнить, что когда тела вращаются в горизонтальной плоскости, то на них действует магнетизм земли. Поскольку действие сказывается на всей пластине, то оно в этих случаях не может быть вредным, но в иных опытах и расчетах оно может иметь важное значение.

217. Другой вопрос, который я пытался разрешить, заключался в том, существенно ли или нет, чтобы при пересечении магнитных кривых подвижная часть провода переходила в положение, соответствующее большей или меньшей магнитной силе; или же движение само по себе является достаточным для получения тока, если все время пересекаются кривые одной и той же магнитной силы. Что справедливо последнее, это было доказано уже несколькими опытами с земной магнито-электрической индукцией. Так, например, электричество, получаемое от медной пластинки (149), токи, получаемые во вращающемся шаре (161 и сл.),

¹ Philosophical Transactions, 1831, стр. 68.

и токи, проходящие через движущийся провод (171), — все они образуются при обстоятельствах, при которых магнитная сила не могла не оставаться неизменной в течение всего опыта.

218. Чтобы подтвердить это положение для случая обычного магнита, к концу цилиндрического магнита был прилеплен медный диск с прослойкой бумаги; магнит и диск вращались вместе, а коллекторы (присоединенные к гальванометру) были приведены в соприкосновение с окружностью и центральной частью медной пластины. Стрелка гальванометра отклонялась, как и в предыдущих случаях, и направление отклонения было такое же, какое получилось бы, если бы вращалась только медь, а магнит был неподвижен. Не наблюдалось также заметной разницы в величине отклонения. Итак, вращение магнита не вызывает никакой разницы в результатах, ибо вращающийся и неподвижный магнит производят одно и то же действие на движущуюся медь.

219. Закрытый с одного конца медный цилиндр был надет на магнит, половину которого он покрывал как бы колпачком; цилиндр был укреплен неподвижно и предохранен во всех точках от соприкосновения с магнитом проложенной между ними бумагой. Затем прибор этот был опущен в узкий сосуд со ртутью, так что нижний край медного цилиндра касался жидкого металла; один проводник от гальванометра был погружен в эту ртуть, а другой — в небольшую выемку в центре дна медного колпачка. При вращении магнита и укрепленного на нем цилиндра огромное количество электричества проходило через гальванометр, и в том же направлении, как если бы вращался только цилиндр, а магнит оставался в покое. Результаты таким образом получились такие же, как и с диском (218).

220. Что самый металл магнита может заменить собой движущийся цилиндр, диск или провод, казалось неизбежным следствием; в то же время оно показало бы действие магнито-электрической индукции в поразительной форме. Поэтому в центре каждого из концов цилиндрического магнита было проделано по небольшому углублению для помещения в нем капли ртути, и затем магнит был опущен полюсом кверху в этот металл, налитый

в узкий сосуд. Один провод гальванометра был погружен в находящуюся в сосуде ртуть, а другой — в каплю, заключенную в углублении на верхнем конце оси. Затем магнит был приведен во вращение посредством куска обернутой вокруг него веревки, и стрелка гальванометра немедленно отметила сильный ток электричества. При изменении направления вращения на обратное электрический ток менял знак. Направление движения электричества было такое же, как если бы медный цилиндр (219) или какой-нибудь медный проводник вращался вокруг неподвижного магнита в том же направлении, какому следовал самый магнит. Таким образом становится очевидной своеобразная независимость между магнетизмом и тем стержнем, в котором он сосредоточен.

221. В вышеприведенном опыте ртуть доходила примерно до половины высоты магнита: но когда количество ее было увеличено так, что она отстояла от верхнего конца на одну восьмую дюйма, а также тогда, когда оно было уменьшено так, что она настолько же отстояла от нижнего конца, все же наблюдались те же самые действия и те же самые направления электрических токов. Впрочем, в этих крайних случаях действия проявлялись не так сильно, как в тех случаях, когда уровень ртути приходился приблизительно на середине магнита или где-либо между серединой и одним дюймом от одного из концов его. Магнит был длиной в восемь с половиной дюймов и диаметром в три четверти дюйма.

222. При переворачивании магнита и вращении его в одинаковом направлении, т. е. всегда в направлении завинчивания или развинчивания, возникал противоположный ток электричества. Но когда движение магнита сохраняет постоянное направление по отношению к его *собственной оси*, тогда на обоих его полюсах собирается электричество одного знака, а противоположное электричество — у экватора или по соседству с ним, или в местах, соответствующих ему. Если магнит установить параллельно земной оси так, что его полюс без метки будет направлен на Полярную звезду, и затем вращать в таком направлении; чтобы точки на его южной половине двигались с запада на восток,

в соответствии с движением земли, то положительное электричество можно собирать на концах магнита, а отрицательное — у середины его массы или примерно там.

223. При очень чувствительном гальванометре, если один из проводов гальванометра касался конца, а другой — экваториальных областей, достаточно было простого поворота магнита в воздухе для того, чтобы образовался ток электричества и чтобы стрелка отклонялась.

224. Затем были произведены опыты с подобным же магнитом в целях установить, не имеет ли места возвращение электрического тока в центральных или осевых местах, обладающих той же угловой скоростью вращения, что и другие места (259); я полагал, что этого не происходит.

225. На одном конце цилиндрического магнита длиной в восемь дюймов и диаметром в три четверти дюйма в направлении оси было просверлено отверстие диаметром в четверть дюйма и глубиной в три дюйма. В него был вставлен медный цилиндр, окруженный бумагой и на обоих концах покрытый амальгамой, так что на дне отверстия можно было с помощью небольшого количества ртути создать металлический контакт его с серединой магнита; по бокам цилиндр был изолирован бумагой и выдавался примерно на четверть дюйма над концом стали. На медный стержень надевалась муфта, которая доходила до бумаги и образовала чашечку, куда наливалась ртуть, необходимая для замыкания цепи. Вокруг этого конца магнита был, кроме того, устроен высокий бумажный ободок, и в него наливалась ртуть, которая, однако, не имела металлического соединения с ртутью в муфте, если не считать соединение через самый магнит и через медный стержень (рис. 34). Провода *A* и *B* от гальванометра были погружены в эти две порции ртути; таким образом всякий проходящий через них ток мог распространиться не иначе, как вниз, через магнит по направлению к его экваториальным частям и затем вверх по медному стержню, или наоборот.

226. При таком устройстве, при вращении магнита в направлении завинчивания, меченый конец стрелки гальванометра

отклонялся к западу, указывая, что имеется ток через прибор; этот ток шел от *A* к *B* и, значит, от *B* через магнит и медный стержень к *A* (рис. 34).

227. Затем магнит был помещен, как и ранее (219), в сосуд со ртутью (рис. 35); провод *A* был оставлен в контакте с медной осью, а провод *B* был погружен в ртуть в сосуде и находился, таким образом, в металлическом соединении с экваториальными частями магнита, а не с его полюсным концом. При вращении магнита в направлении завинчивания стрелка гальванометра отклонялась в том же направлении, что и раньше, но значительно



Рис. 34.

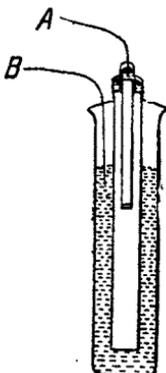


Рис. 35.

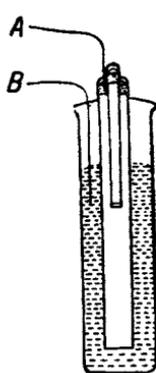


Рис. 36.

сильнее. Но ведь очевидно, что участок магнита от экватора до полюса был вне электрической цепи.

228. Затем провод *A* соединялся со ртутью на конце магнита, провод *B* оставался еще в контакте с ртутью в сосуде (рис. 36); таким образом вся медная ось оказывалась вне цепи. Магнит опять был приведен во вращение в направлении завинчивания и снова производил такое же отклонение стрелки; ток был такой же силы, как и в последнем опыте (227), и гораздо сильнее, чем в первом (226).

229. Отсюда ясно, что в центре магнита не имеется разряда тока, ибо ток, развивающийся теперь свободно, направлен в магните вверх, а в первом опыте (226) он был направлен вниз. В са-

мом деле, там действовала лишь часть движущегося металла, равная небольшому диску, простирающемуся от конца провода *B* в ртути до провода *A*, т. е. только она двигалась с отличной по отношению к остальной цепи угловой скоростью (258), а для этой части направление тока находится в согласии с остальными результатами.

230. В двух последних опытах движущимися по отношению к другим частям цепи, т. е. по отношению к проводам гальванометра, являлись боковые части магнита или медного стержня; эти части, являясь более протяженными и пересекая большее число кривых или двигаясь с большей скоростью, дают большее действие. Для дисковой части направление индуцированного электрического тока везде одинаковое, а именно: от окружности к центру.

231. Таким образом индуцированный электрический ток, возбуждаемый в движущихся по отношению к магнитам телах, зависит от пересечения магнитных кривых металлом (114). Этот закон получил теперь (217, 220, 224) большую точность и определенность и, повидимому, может быть приложен и к случаям, рассмотренным в разделе 1 предыдущего доклада (26); давая полное обоснование для наблюдаемых действий, закон этот делает излишним предположение о существовании особого состояния, которое я позволил себе назвать электротоническим (60).

232. Когда через провод проходит электрический ток, то этот провод во всех своих точках окружен магнитными кривыми, интенсивность которых убывает с расстоянием; мысленно можно уподобить их кольцам, расположенным в плоскостях, перпендикулярных к проводу, или, вернее, к протекающему в нем току. Хотя и отличные по форме, эти кривые являются совершенно аналогичными тем, которые существуют между двумя обращенными друг к другу разноименными полюсами. Когда второй провод, параллельный тому, который несет ток, приближают к последнему (18), то он проходит через магнитные кривые точно того же рода, как и те, которые он пересекал бы при своем пере-

мещении в некотором направлении между противоположными полюсами (109); при удалении от индуцирующего провода он перерезает окружающие его кривые таким же образом, как пересекал бы кривые между теми же полюсами, двигаясь в обратном направлении.

233. Если через проводник NP (рис. 37) пропустить электрический ток в направлении от P к N , то изображенное пунктиром кольцо может представлять собой окружающую его магнитную кривую, идущую в таком направлении, что небольшие магнитные стрелки, помещенные касательно к ней, окажутся расположенными, как на рисунке, где n и s обозначают северные и южные концы (44, сноски).

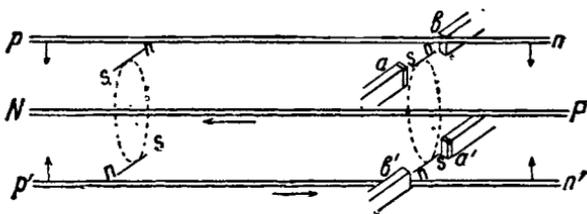


Рис. 37—38.

234. Положим теперь, что ток электричества временно прекращен, а для того, чтобы направить магнитные стрелки мы вместо него воспользовались магнитным полюсом; если с его помощью привести стрелки в такое же положение, какое они занимали бы под влиянием тока, то полюсы надо расположить так, как это изображено на рис. 38, где полюсы с меткой и без метки ab над проводом направлены обратно полюсам $a'b'$ под ним. Таким образом в этом положении магнитные кривые между полюсами ab и $a'b'$ имеют то же общее направление, что и соответствующие части кольцевой магнитной кривой, окружающей провод NP , по которому протекает электрический ток.

235. Если теперь второй провод pn (рис. 37) подносить к главному проводу, по которому идет ток, то он будет пересекать бесконечное число магнитных кривых, имеющих то же направление, что изображенное на рисунке, и, следовательно, сходных

по направлению с кривыми между полюсами ab магнитов (рис. 38); он будет пересекать эти кривые тока таким же образом, как он пересекал бы магнитные кривые, проходя между полюсами сверху вниз. Но такое пересечение в случае магнитов возбудило бы в проводнике электрический ток, направленный от p к n (114); а поскольку кривые расположены одинаково, то такое же действие должно получиться в результате пересечения магнитных кривых, образуемых током, идущим по проводу NP ; так оно и есть в действительности, так как при приближении индуцированный ток имеет направление, противоположное направлению главного тока (19).

236. Если двигать проводник $p'n'$ снизу вверх, то он будет проходить между магнитными полюсами в обратном направлении; но и магнитные полюсы при этом также меняются на противоположные (рис. 38), и индуцированный ток (114) поэтому имеет все то же направление, что и ранее. Он имеет также, по столь же достаточным и очевидным причинам, то же самое направление, если возникает под действием кривых, образуемых проводом.

237. Когда второй провод остается неподвижным поблизости от главного, в нем ток не индуцируется, так как он не пересекает магнитных кривых. При удалении от главного провода он пересекает кривые в направлении, обратном тому, в котором пересекал их ранее (235), и тогда индуцируется ток обратного направления, который, следовательно, соответствует по направлению главному току (19). То же самое действие имело бы место, если бы мы изменили на противоположное направление движения провода при его прохождении между той или другой парой полюсов (рис. 38) и заставили его пересекать имеющиеся там кривые в направлении, обратном тому, в котором он пересекал их ранее.

238. В первых опытах (10, 13) индуцирующий и находящийся под действием индукции провода были расположены на определенном расстоянии друг от друга, и потом через первый из них пропущался электрический ток. Надо принять, что в таком слу-

чае сами магнитные кривые как бы движутся (если можно так выразиться) поперек индуцируемого провода, начиная с момента, когда они начинают развиваться, и вплоть до того момента, когда магнитная сила тока достигает наибольшего значения; что они как бы распространяются в стороны от провода и, следовательно, оказываются по отношению к неподвижному, индуцируемому проводу в том же положении, как если бы он двигался в противоположном направлении поперек них или по направлению к несущему ток проводу. Поэтому первый ток, который был индуцирован в таком случае, шел в направлении, противоположном главному току (17, 235). При размыкании контакта батареи магнитные кривые (которые являются просто выражением распределенных здесь магнитных сил) можно себе представить стягивающимися и возвращающимися по направлению к исчезающему току и, следовательно, движущимися поперек провода в противоположном направлении; поэтому они вызывают индуцированный ток, противоположный первому.

239. В некоторых опытах с обычными магнитами последние не перемещались около проводов, но действительно становились магнитами уже вблизи них (27, 36); можно считать, что тогда имело место подобное же постепенное развитие магнитных кривых, в результате чего получались действия, которые имели бы место при движении проводов в некотором определенном направлении; уничтожение магнетизма соответствует перемещению провода в противоположном направлении.

240. Не будем теперь приближать и удалять вторичный провод к прямолинейному несущему ток проводу (235). Вместо этого для пересечения магнитных кривых последнего воспользуемся вращающейся пластинкой, которую поместим для этой цели вблизи провода, т. е. как бы посреди магнитных кривых. Тогда внутри пластинки должны индуцироваться непрерывные электрические токи; и если прямая, соединяющая провод с центром пластинки, перпендикулярна к обоим, то, согласно закону (114), индуцированный ток должен идти прямо поперек пластины от одного края к другому и под прямым углом к индуцирующему току:

241. Через уединенный металлический провод диаметром в одну двадцатую дюйма пропускался электрический ток, а недалеко от провода, под ним, но не касаясь его, вращался небольшой медный диск диаметром в полтора дюйма (рис. 39). Затем к противоположным краям диска прикладывались коллекторы: с ними были связаны провода к гальванометру. При вращении диска в одном направлении стрелка отклонялась в одну сторону, а при изменении направления вращения на обратное — в другую, в соответствии с ожидаемыми результатами.

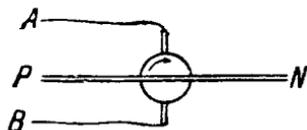


Рис. 39.

242. Таким образом исчезли те основания, которые заставили меня сделать предположение об особом состоянии провода (60), и хотя мне все еще кажется неправдоподобным, чтобы неподвижный провод, находясь по соседству с другим, через который проходит сильный электрический ток, оказывался к нему совершенно безразличным, тем не менее, я не знаю никаких определенных фактов, которые бы дали право заключить, что он находится в каком-нибудь особом состоянии.

243. Я размышлял и далее о природе той причины, которая указана в настоящих докладах для объяснения взаимодействия магнитов и движущихся металлов (120), и сравнивал ее с принявшейся ранее, а именно, что здесь якобы возбужден слабый магнетизм, подобно тому, как это получается в железе; при этом мне пришло в голову, что можно было бы произвести опыт, способный дать весьма решительный ответ на вопрос о том, которая из этих двух точек зрения более отвечает действительности (215).

244. Ни одна из известных нам сил не имеет того же направления, как сила, проявляющаяся между электрическим током и магнитным полюсом; она направлена по касательной, тогда как все остальные силы, действующие на расстоянии, действуют по прямой. По нашей точке зрения, магнитный полюс, находящийся по определенную сторону от вращающейся пластинки, следует

своему пути, потому что подчиняется тангенциальной силе, действующей на него благодаря тому самому току электричества, который им же создан; если это так, то такой же полюс, будучи помещен с противоположной стороны пластинки, должен немедленно высвободить его из под действия этой силы, так как токи, которые должны были бы возникнуть под действием двух полюсов, имеют противоположные направления; вернее, они совершенно не должны возникать, или еще иначе: не должно происходить пересечения магнитных кривых (114); а потому магнит должен оставаться неподвижным. Пусть, наоборот, действие северного магнитного полюса ведет к образованию южного полюса в ближайшей к нему части медной пластинки и рассеянного северного полюса в других точках (82), как это действительно имеет место в случае железа; тогда, если расположить с противоположной стороны того же места пластинки второй северный полюс, то это должно вызывать удвоенное действие, а не уничтожать его, а также должно удваивать стремление первого магнита перемещаться вместе с пластинкой.

245. Поэтому на вертикальной оси была укреплена толстая медная пластинка (85); на плетеном шелковом шнуре был подвешен стержневой магнит так, чтобы его полюс с меткой приходился над краем пластинки; между ними был проложен лист бумаги; после этого пластинка была приведена во вращение; магнитный полюс немедленно подчинился ее движению и последовал в том же направлении. Затем на первый магнит был подвешен второй магнит, тех же размеров и длины, таким образом, что его полюс с меткой приходился *под* краем медной пластинки в положении, соответствующем верхнему магниту, и на таком же расстоянии (рис. 40). Между ними, как и ранее, был проложен лист бумаги в виде экрана; когда пластина была приведена во вращение, то оказалось, что полюсы совершенно безразличны к ее движению, хотя каждый из них в отдельности и следовал бы за ее вращением.

246. Когда один из магнитов был повернут так, что с разных сторон пластинки оказывались *противоположные* полюсы, то

взаимодействие между полюсами и движущимся металлом стало максимальным.

247. Если подвесить один из магнитов таким образом, чтобы его ось была на одном уровне с пластинкой, а один из полюсов приходился против ее края, то при вращении пластинки движения магнита не возникает. Электрические токи, образуемые индукцией, стремились бы теперь проходить в вертикальном направлении поперек толщины пластины, но не могли бы при этом разряжаться или могли бы разряжаться лишь в такой слабой степени, что все действия оставались бы незаметными; наоборот, обычная магнитная индукция или индукция в железной пластинке

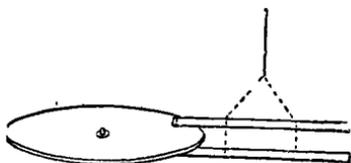


Рис. 40.

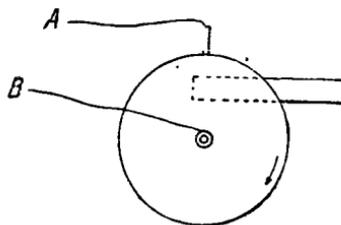


Рис. 41.

при таком положении развивалась бы с такой же, если не с большей силой (251).

248. Далее, по вопросу об условиях, при которых здесь происходит образование электричества. Всякий раз, как движение от пластинки сообщалось магнитам, имели место токи; когда движение не сообщалось, токи исчезали. Меченый полюс большого стержневого магнита был помещен под краем пластинки; коллекторы (86) были приложены к оси и краю пластинки, как и в предшествующих случаях (рис. 41) и соединены с гальванометром; когда пластинка вращалась, электричество проходило к прибору в избытке. Затем над местом расположения первого полюса был помещен не меченый полюс подобного магнита, так что сверху и снизу приходились противоположные полюсы; при вращении пластинки ток электричества был сильнее, чем раньше.

Второй магнит был затем повернут концами наоборот, так что и сверху и снизу пластинки находились полюсы с меткой; тогда при вращении пластинки электричество получалось в едва заметном количестве. Я прилаживал полюсы на расстояниях, соответствующих их относительной силе, и, наконец, достиг этим настолько полной нейтрализации их индуктивного действия на пластинку, что нельзя было получить электричества даже при самом быстром вращении.

249. После этого я приступил к сравнению действия одноименных и разноименных полюсов на железо и медь, воспользовавшись для этой цели очень удобным видоизменением опыта Араго, предложенным г. Стёрдженем (Sturgeon). Прибор этот состоит из круглой металлической пластинки, сидящей в вертикальной плоскости на горизонтальной оси; пластинка слегка нагружена с одного края или же установлена эксцентрически и потому может колебаться как маятник. Полюсы магнитов устанавливаются вблизи боков и краев этих пластинок, и затем определяется число колебаний, необходимое для уменьшения дуги колебания до некоторой постоянной величины. В первом описании этого прибора¹ говорится, что противоположные полюсы производят наибольшее тормозящее действие, а одинаковые — никакого; всего лишь одной страницей дальше утверждается, что действие это — такого же рода, как получаемое в железе.

250. Я устроил две такие пластинки: одну из меди, другую — из железа. Медная пластина, отдельно взятая, давала, как среднее из нескольких опытов, шестьдесят колебаний, прежде чем дуга колебания уменьшалась от одной постоянной заметки до другой. Когда поблизости от одного и того же места пластинки по обе стороны от нее помещалось два противоположных магнитных полюса, число колебаний падало до пятнадцати. Когда полюсы по обе стороны пластинки были одинаковы, оно возрастало до пятидесяти; а когда на том же расстоянии были помещены два куска дерева одинакового с полюсами размера, оно становилось

¹ Edinb. Phil. Journal, 1825, стр. 124.

равным пятидесяти двум. Таким образом при одинаковых полюсах магнитное действие было незначительно или отсутствовало (торможение было вызвано скорее стеснением воздуха); наоборот, при противоположных полюсах, оно становилось наибольшим из возможных. Когда полюс подносился к краю пластинки, торможения не происходило вовсе.

251. Железная пластинка, отдельно взятая, совершала тридцать два колебания, покуда дуга колебания уменьшалась на определенную величину. При поднесении магнитного полюса к краю пластины (247) число колебаний падало до одиннадцати; оно падало до пяти, когда полюс находится на расстоянии около полудюйма от края.

252. Когда полюс с меткой находился у поверхности железной пластинки, на некотором от нее расстоянии, число колебаний равнялось всего пяти. Когда меченый полюс второго магнитного стержня находился с противоположной стороны пластинки на таком же расстоянии (250), то число колебаний уменьшалось до двух. Когда же второй полюс был без метки, но занимал точно такое же положение, то число колебаний возрастало до двадцати двух. При удалении более сильного из этих двух противоположных полюсов на некоторое расстояние от пластинки, число колебаний возрастало до тридцати одного, т. е. почти до первоначальной величины. Но при полном удалении его, оно падало до пяти-шести.

253. Итак, более чем ясно, что в случае железа и тел, способных к обычной магнитной индукции, противоположные полюсы, находясь с противоположных сторон края пластины, нейтрализуют действие друг друга, тогда как одинаковые полюсы его усиливают. Одного полюса, помещенного у края, также достаточно для возникновения явления. В случае же меди и веществ, нечувствительных к обычным магнитным воздействиям, одинаковые полюсы, помещенные с противоположных сторон пластинки, друг друга нейтрализуют; противоположные полюсы усиливают действие, а отдельный полюс у края или конца, не действует никак.

254. Невозможно с более исчерпывающей полнотой доказать совершенную разнородность явлений, полученных Араго с этими металлами, и явлений, вызываемых обычными магнитными силами; таким образом прикладывание двух полюсов в случае различных движущихся веществ, если последние вообще подвержены магнитному действию, даст возможность судить о природе этого влияния. Когда противоположные полюсы производят более сильное действие, чем один полюс, результат следует приписать электрическим токам. Когда одинаковые полюсы производят более сильное действие, чем один полюс, то сила *не* является электрической; она не похожа на силу, действующую в движущихся металлах и угле, и в большинстве случаев, вероятно, окажется даже не магнитной природы, а результатом случайных причин, которые не были предусмотрены и против которых поэтому не было принято мер предосторожности.

255. Результат этих исследований доказывает, что действительно существует лишь очень незначительное количество тел, которые являются такими же магнитными, как железо. Я часто искал указаний на присутствие этой силы в обычных металлах и других веществах; однажды, для выяснения возражений Араго (82) и в надежде обнаружить существование токов в металлах при мгновенном приближении магнита, я подвесил медный диск на отдельном шелковом волокне в превосходном вакууме и подносил с внешней стороны сосуда сильные магниты, приближая и удаляя их в такт с маятником, который колебался так же, как колебался бы диск; однако никакого движения получить не удалось; не только не было указаний на обычные магнитные силы, но даже на какие-либо электрические токи, могущие возникнуть в металле в результате приближения и удаления магнита. Поэтому я считаю себя в праве установить разделение веществ на три класса по их отношению к магнитам; первые — это те, которые, находясь в покое, поддаются действию магнитов, как железо, никель и т. д., т. е. обладают обычными магнитными свойствами; затем идут те, которые подвергаются действию магнитов, когда находятся в движении; это — проводники электричества, в которых индуктивная

сила магнитов создает электрические токи; и, наконец, те, которые остаются совершенно безразличными по отношению к магниту, независимо от того, находятся ли они в покое или в движении.

256. Прежде чем в точности будет установлен способ действия между движущимися друг относительно друга магнитом и металлом, потребуются дальнейшие исследования и, вероятно, подробное изучение как экспериментальное, так и математическое; тем не менее, многие из полученных результатов представляются достаточно ясными и простыми, чтобы им можно было дать в некоторой степени общее выражение. Если конечный провод перемещается так, что пересекает магнитную кривую, то возникает сила, которая стремится направить сквозь него электрический ток, но этот ток может возникнуть только в том случае, если на концах провода устроено приспособление для разряда тока и его возобновления.

257. Если второй провод перемещается в таком же направлении, как и первый, то в нем обнаруживается такая же сила, и потому он оказывается неспособным изменить состояние первого; повидимому, между последовательно соединенными телами не существует таких естественных различий, вследствие которых при перемещении этих тел относительно магнита в одних и тех же условиях одно из них стремилось бы произвести более сильный ток во всей цепи, чем другое (201, 214).

258. Но если второй провод перемещается с отличной скоростью или в несколько ином направлении, то имеют место различия в производимой силе, и если провода соединены концами, то через них проходит электрический ток.

259. Возьмем теперь сплошной кусок металла или бесконечный провод и будем рассматривать полюс магнита, как центр действия (выражение, если и не совсем строго правильное, но пока что допустимое для удобства); если все части перемещаются в одном и том же направлении с одинаковой угловой скоростью и сквозь магнитные кривые неизменной интенсивности, то элек-

трического тока не возникает. Это легко наблюдать на телах, способных испытывать действие земного магнетизма, и может быть доказано в отношении небольших магнитов; если вращать их, а все металлическое устройство оставить неподвижным, ток не образуется.

260. Если одна часть провода или металла пересекает магнитные кривые, тогда как другая неподвижна, то токи возникают. Сюда более или менее относятся все получаемые с гальванометром результаты, причем выводы этого последнего представляют собой неподвижную часть. Сюда же можно безошибочно отнести результаты, полученные с проводом, гальванометром и землей (170).

261. Если весь металл движется в одном и том же направлении, но угловые скорости отдельных его частей по отношению к полюсу магнита различны, то токи возникают. Так обстоит дело в опыте Араго, а также в проводе, подвергаемом действию земной индукции (172), когда он перемещается с запада на восток.

262. Если магнит движется не прямо к приборам или от них, а вбок, то случай подобен только что рассмотренному.

263. Если различные части двигаются поперек магнитных кривых в противоположных направлениях, то при равных скоростях наблюдается максимум действия.

264. Все это в сущности является вариациями одного простого условия, а именно: отдельные части массы не должны двигаться наперерез кривым в одном и том же направлении и с одной и той же угловой скоростью. Но это такие выражения, которые, мне кажется, полезно помнить при установлении связи между частными явлениями и общими результатами.

Королевский институт.

21 декабря 1831 г.

ТРЕТЬЯ СЕРИЯ

Раздел 7. Тождество отдельных видов электричества, происходящих от разных источников. Раздел 8. Количественные соотношения между обыкновенным и гальваническим электричеством.

Доложено 10 и 17 января 1833 г.

РАЗДЕЛ 7

Тождество отдельных видов электричества, происходящих от разных источников

265. Ход исследований по электричеству, которые я имел честь представить Королевскому обществу, привел меня к такому моменту, когда для продолжения моих исследований стало существенно, чтобы не оставалось никаких сомнений относительно того, тождественны или различны отдельные виды электричества, возбуждаемые различными способами. Правда, Кэвендиш (Cavendish),¹ Волластон,² Колладон (Colladon)³ и другие устранили, одно за другим, некоторые из наиболее сильных возражений против признания обыкновенного, животного и гальванического электричества тождественными, и большинство ученых, я полагаю, считает, что эти виды электричества в действительности представляют собой одно и то же. Однако, с другой стороны, справедливо и то, что точность опытов Волластона⁴

¹ Philosophical Transactions, 1776, стр. 196.

² Там же, 1801, стр. 434.

³ Annales de Chimie, 1826, стр. 62 и т. д.

⁴ Philosophical Transactions, 1832, стр. 282, примечание.

отрицалась и что один из этих опытов, который как раз не может служить доказательством химического разложения с помощью обыкновенного электричества (309, 327), некоторые экспериментаторы предпочтительно указывали, как доказательство химического действия (336, 346). Несомненно также, что многие физики все еще проводят различие между отдельными видами электричества, происходящими из различных источников, или, по меньшей мере, сомневаются в том, что тождественность их доказана. Сэр Гемфри Дэви (Humphry Davy), например, в своей статье об электрическом скате¹ считает возможным, что животное электричество окажется особым его родом; по поводу него, по поводу обыкновенного электричества, гальванического электричества и магнетизма он говорит: «При изучении различных видоизменений или свойств электричества в этих различных формах, между ними может быть будут установлены различия и т. д.».

Мне было бы, по правде сказать, достаточно сослаться на последний том «Philosophical Transactions», чтобы показать, что вопрос отнюдь не считается решенным окончательно.²

¹ Philosophical Transactions, 1829, стр. 17: «Обыкновенное электричество возбуждается в непроводниках и легко уходит с помощью проводников и несовершенных проводников. Гальваническое электричество возбуждается в соединениях совершенных и несовершенных проводников и только переносится совершенными проводниками или несовершенными проводниками наилучшего сорта. Магнетизм, если он является формой электричества, присущ только совершенным проводникам, а в своих видоизменениях — только особому классу их. ^a Животное электричество существует только в несовершенных проводниках, образующих органы живых существ и т. д.».

^a Д-р Ригчи показал, что это не так (Philosophical Transactions, 1832; стр. 294).

² Philosophical Transactions, 1832, стр. 259. Д-р Дэви, производя опыты с электрическим скатом, получил такие же действия, какие производятся обыкновенным и гальваническим электричеством; он говорит, что в отношении магнитной и химической силы оно не представляет существенных отличий (стр. 274); однако дальше, на стр. 275, он говорит, что имеются другие пункты различия; указывая на них, он добавляет: «Как

266. Таким образом, несмотря на общее впечатление о тождественности различных видов электричества, очевидно, что доказательства этого не были достаточно ясными и отчетливыми и не могли быть признанными всеми лицами, компетентными в данном вопросе; положение вопроса представлялось мне сходным с положением другого вопроса, так блестяще разрешенного сэром Дэви, а именно: во всех ли случаях гальваническое электричество лишь выделяло кислоты и щелочи, обнаруживаемые в воде после его действия, или же оно в некоторых случаях их действительно создавало? Та же самая необходимость, которая побудила сэра Дэви разрешить сомнительный пункт, препятствовавший развитию его взглядов и нарушавший строгость его рассуждений, заставила и меня решить раз навсегда, являются ли обыкновенное и гальваническое электричества тождественными или различными. Я убедился, что они тождественны, и надеюсь, что опыты, которые я намереваюсь привести, и проистекающие из них доказательства Королевское общество найдет достойными внимания.

объяснить эти различия? Допускают ли они объяснение, подобное выдвинутому г. Кэвендишем в его теории электрического ската, или мы можем предположить по аналогии с солнечным лучем, что электрическая сила, независимо от того, чем она возбуждается: посредством обычной машины, или гальванической батареи, или электрическим скатом, является не простой силой, а комбинацией сил, которые могут встречаться в различных сочетаниях и создавать все разнообразие видов электричества, которые нам известны?» На стр. 279 того же тома «Transactions» имеется статья д-ра Ритчи, из которой приводим следующие выдержки: «Обыкновенное электричество рассеяно на поверхности металла; гальваническое электричество существует внутри металла. Свободное электричество проходит по поверхности тончайшего золотого листка так же, как по массе металла, имеющей такую же поверхность; гальваническое электричество для своего прохождения нуждается в некоторой толщине металла» (стр. 280); и еще: «Предполагаемая аналогия между обыкновенным и гальваническим электричеством, которая так усердно проводилась после изобретения вольтова столба, оказывается совершенно несостоятельной в данном случае, в котором всегда усматривалось наиболее резкое сходство» (стр. 291).

267. В целях сравнения различные проявления электричества можно разбить на два рода, а именно: на явления, связанные с электричеством напряжения, и на явления, присущие электричеству в движении. Такое подразделение принято здесь не по физическим соображениям, а лишь для удобства. Действия электрического заряда напряжения, т. е. находящегося в покое, заключаются в притяжении или отталкивании на заметных расстояниях. Из действий электричества в движении, т. е. электрических токов, назовем: 1) развитие тепла; 2) магнетизм; 3) химическое разложение; 4) физиологические явления; 5) искра. Моя задача будет состоять в сравнении электричеств от разных источников, в особенности обыкновенного и гальванического электричества, в отношении их способности производить эти действия.

I. Гальваническое электричество

268. **Н а п р я ж е н и е.** При исследовании полюсов гальванической батареи, состоящей из ста пар пластин, с помощью обыкновенного электрометра, они, как это всем известно, оказываются один положительным, другой отрицательным; золотые листочки, присоединенные к одному и тому же полюсу, отталкивают друг друга, а присоединенные к различным полюсам притягивают друг друга, если даже между ними находится воздушный промежуток в полдюйма или более.

269. Что обыкновенное электричество легко разряжается острием через воздух, что оно легко передается через сильно разреженный воздух, а также через нагретый воздух, как, например, через пламя, — все это обусловлено его высоким напряжением. Поэтому я стал искать подобные явления при разряде гальванического электричества; я пользовался для доказательства прохождения электричества либо гальванометром, либо химическим действием, которое производилось в описанном ниже (312, 316) приборе.

270. Имевшаяся в моем распоряжении гальваническая батарея состояла из 140 пар пластин по четыре квадратных дюйма,

причем медные пластины были двойные. Батарея была тщательно изолирована; она давала расхождение золотых листочков электрометра приблизительно на одну треть дюйма. Я пытался получить от этой батареи разряд с тонких остриев, которые весьма тщательно устанавливал и приближал друг к другу либо в воздухе, либо в откачанном сосуде; но я не добился указаний на существование тока ни посредством магнитного, ни посредством химического действия. В этом, однако, не усматривалось признаков различия между гальваническим и обыкновенным электричеством; в самом деле, когда я заряжал лейденскую батарею (291)

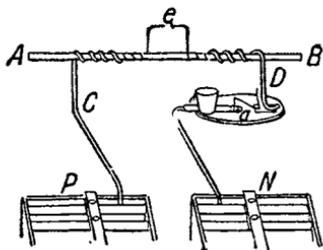


Рис. 42.

так, что золотой листочек электрометра отклонялся на тот же угол, то разряд, который проходил через острия, был недостаточно силен для того, чтобы произвести магнитное или химическое действие. Происходило это не потому, что обыкновенное электричество было не в состоянии произвести оба эти действия (307, 310), а потому, что при столь низком на-

пряжении его количество электричества, необходимое для того, чтобы сделать действие видимым, — а это количество чрезвычайно велико (371, 375), — невозможно было передать в сообразный с чем-нибудь срок. Наряду с другими доказательствами тождественности, которые будут приведены дальше, это действие остриев также подтверждает тождественность, а не различие между гальваническим и обыкновенным электричеством.

271. Поскольку нагретый воздух разряжает обыкновенное электричество с значительно большей легкостью, чем острия, я надеялся, что этим же путем можно будет получить разряд и гальванического электричества. Поэтому был построен прибор (рис. 42), в котором *AB* представляет собой изолированную стеклянную палочку, на которой жестко укреплены два медных провода *C* и *D*; к этим проводам припаяны два куса тонкой платиновой проволоки, концы которых в точке *e* сходятся очень

близко, не касаясь, однако, друг друга; медный провод *C* был соединен с положительным полюсом гальванической батареи, а провод *D* — с прибором (312, 316) для разложения; от этого прибора провод шел к отрицательному полюсу батареи. В этих опытах я брал только два ящика, т. е. двадцать пар пластин.

272. При описанных условиях в точке *a* разложения не происходило; но когда я приближал к двум платиновым концам в точке *e* край пламени спиртовой лампы и раскаливал их докрасна, разложение имело место; в точке *a* вскоре появлялся иод и устанавливалась передача электричества через нагретый воздух. При повышении температуры концов *e* с помощью паяльной трубки разряд облегался в еще большей степени, и разложение наступало мгновенно. При удалении источника тепла ток немедленно прекращался. Если провода установить рядом, параллельно друг другу, но так, чтобы они не касались, действия получаются, пожалуй, с еще большей легкостью, чем ранее. Когда я пользовался для опытов более сильной гальванической батареей (270), действия также получались с большей легкостью.

273. Прибор для разложения был заменен гальванометром; при каждом отклонении стрелки в определенную сторону точки *e* нагревались, а во время обратного ее движения источник тепла удалялся (302); тогда вскоре получились слабые отклонения, что также подтверждает прохождение тока через нагретый воздух; впрочем этот прибор в данных условиях был менее чувствителен, чем химическое действие.

274. Эти действия до настоящего времени оставались неизвестными и, во всяком случае, не предвиделись в такой именно форме; они являются лишь частными случаями того разряда, который имеет место в воздухе между угольными концами полюсов мощной батареи, если их постепенно разъединять после соприкосновения. В этом случае имеет место прохождение электричества сквозь нагретый воздух, точно так же как и в случае обыкновенного электричества. Сэр Дэви указывает, что когда он работал с той же батареей Королевского института, разряд

проходил через промежуток не менее четырех дюймов.¹ В откачанном сосуде электричество проскакивало через промежуток около полудюйма; при соединенном действии разрежения и нагревания заключенный внутри воздух оказался способным пропускать электричество через промежуток в шесть-семь дюймов.

275. То обстоятельство, что лейденская батарея мгновенно заряжалась от полюсов гальванического прибора, является еще одним указанием величины напряжения, а также количества электричества, развиваемых последним. Сэр Г. Дэви говорит: «Если оба провода от концов прибора соединить с лейденской батареей, один с внутренней, а другой с внешней обкладкой, то батарея заряжается мгновенно; если удалить провода и сделать надлежащие соединения, то можно ощутить удар или заметить искру; кратчайшей продолжительности контакта достаточно для того, чтобы вновь зарядить батарею до полной силы».²

276. Э л е к т р и ч е с т в о в д в и ж е н и и. I. В ы д е л е н и е т е п л а. Выделение тепла в проводах и жидкостях гальваническим током является фактом общеизвестным.

277. II. М а г н е т и з м. Нет факта, известного физикам лучше, чем способность гальванического тока отклонять магнитную стрелку и создавать магниты по *определённым законам*; нет действия, более характерного для электрического тока.

278. III. Х и м и ч е с к о е р а з л о ж е н и е. Химические действия гальванического тока и подчинение их *определённым законам* также общеизвестны.

279. IV. Ф и з и о л о г и ч е с к и е д е й с т в и я. Способность сильного гальванического тока производить удар и сокращения во всем организме животного, а слабого тока — действовать на язык и глаза является весьма характерной.

280. V. И с к р а. Блестящая светлая звездочка, производимая разрядом гальванической батареи, известна всем, как самый

¹ Elements of Chemical Philosophy, стр. 153.

² Там же, стр. 154.

прекрасный свет, который может быть искусственно создан человеком.

281. Эти действия можно разнообразить почти до бесконечности; одни могут усиливаться, а другие ослабевать; все это факт общепризнанный; отсюда, однако, не вытекает никаких сомнений в тождественности природы гальванических токов, хотя они и становятся столь отличными по своим действиям. Прекрасное объяснение этих изменений, которое дает предложенная Кэвэндишем теория о количестве и интенсивности, в настоящее время не нуждается в дальнейших доказательствах, поскольку оно, по видимому, не вызывает сомнений.

282. Я имею ввиду сделать в дальнейшем некоторые сопоставления между проводниками, несущими гальваническое и обыкновенное электричество; поэтому, а также в связи с некоторыми воззрениями на состояние провода

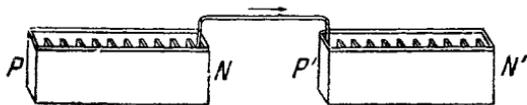


Рис. 43.

или иного проводя-

щего вещества, соединяющего полюсы гальванического устройства, необходимо будет дать некоторое определенное указание, что называется гальваническим током, в отличие от какого-либо иного особого состояния или расположения, которое можно себе представить, которое не соединено с движением, и в которое, как можно вообразить, может прийти провод или электричество внутри его. Если расположить две гальванические батареи PN и $P'N'$ (рис. 43) симметрично, изолировать их и концы NP' соединить проводом, над которым подвешена магнитная стрелка, то провод не оказывает на стрелку воздействия; но если соединить концы PN' другим проводом, стрелка немедленно отклоняется и сохраняет такое положение до тех пор, пока цепь остается замкнутой. Если теперь действие батарей заключается только в том, что они вызывают в проводе особое расположение либо его частиц, либо самого электричества (а этим расположением и определяется электрическое и магнитное состояние провода).

то в проводе NP' уже до того как P и N' были соединены, должно было существовать такое же расположение, как впоследствии, и он должен был бы отклонять стрелку, хотя и менее сильно, — может быть, всего до половины величины, соответствующей полному соединению всей цепи. Если же магнитные действия производятся током, то ясно, почему их нельзя получить ни в какой мере до замыкания цепи, ибо раньше этого момента ток существовать не мог.

283. Под *током* я подразумеваю нечто движущееся поступательно — все равно, что при этом находится в движении: электрическая жидкость, или две жидкости, движущиеся в противоположных направлениях, или просто колебания, или, выражаясь более обще, движущиеся в известном направлении силы. Под *расположением* я понимаю приведение в некоторый порядок частиц или жидкостей или сил, но без поступательного движения. Можно было бы привести множество других доводов в пользу точки зрения тока по сравнению с точкой зрения *расположения*, но я хотел бы избежать излишних доказательств таких вещей, которые другим могут показаться самоочевидными.

II. Обыкновенное электричество

284. Под обыкновенным электричеством я понимаю такое, которое можно получить от обычной машины, или из атмосферы, или посредством давления, или расщепления кристаллов, или посредством множества других операций; отличительным свойством его является значительное напряжение и способность оказывать притягательное и отталкивательное действие не только на заметных, но и на значительных расстояниях.

285. Э л е к т р и ч е с т в о в с о с т о я н и и н а п р я ж е н и я. Известно, что притяжения и отталкивания на небольших расстояниях, производимые обыкновенным электричеством, в некоторых случаях настолько сильны, что почти бесконечно превосходят подобные же явления, производимые электричеством, возбужденным другим путем. Тем не менее, по своей при-

роде эти притяжения и отталкивания ничем не отличаются от тех притяжений и отталкиваний, о которых говорилось под заголовком: «Гальваническое электричество, напряжение» (268). Количественные различия между ними не больше тех, которые наблюдаются в отдельных случаях обыкновенного электричества. Я полагаю, что нет необходимости пускаться в подробные доказательства тождественности этого свойства в обоих случаях. Доказательства эти многочисленны, признаны, вообще говоря, удовлетворительными и самоочевидны; всякий раз, когда в других частях того сравнения, которое я собираюсь проводить, встретится подобный случай, я буду довольствоваться констатированием тождественности, останавливаясь более подробно лишь на тех случаях, где важный вопрос о тождественности или отличии еще не разрешен.

286. Разряд обыкновенного электричества через нагретый воздух является фактом общеизвестным. Аналогичное явление для гальванического электричества описано было выше (272 и т. д.).

287. Э л е к т р и ч е с т в о в д в и ж е н и и. I В ы д е л е н и е т е п л а. Способность обыкновенного электричества при прохождении через провода или другие вещества нагревать их — общеизвестна. Сходство между ним и гальваническим электричеством является в этом отношении полным. Г-ном Гаррисом описан ¹ построенный им на этом принципе прекрасный и весьма чувствительный прибор, посредством которого тепло, производимое в проводе разрядом небольшого количества обыкновенного электричества, легко обнаруживается; к этому прибору я в целях экспериментального подтверждения буду иметь случай прибегать в одной из последующих частей настоящего доклада (344).

288. II. М а г н е т и з м. Гальваническое электричество обладает сильными и бросающимися в глаза магнитными свой-

¹ Philosophical Transactions, 1827, стр. 18; Edinb. Transactions, 1831; Гаррис. О новом электрометре и т. д.

ствами. Если обыкновенное электричество с ним тождественно, то оно должно обладать теми же свойствами. Было найдено, что в отношении намагничивания стрелок и стержней оно ведет себя как гальваническое электричество, и что направление намагничивания в обоих случаях одинаково; но оно оказалось неспособным вызывать отклонение магнитной стрелки, так что иногда его способность в этом отношении совершенно отрицалась, иногда же, чтобы обойти трудности, гипотетически допускалось существование различий между этими видами электричества.¹

289. Женевский ученый Г. Колладон выразил мнение, что различие между этими видами электричества обусловлено тем, что во всех более ранних опытах по этому вопросу брали недостаточные количества обыкновенного электричества. В записке, доложенной Академии Наук в 1826 г.,² он описывает опыты, в которых ему, с помощью батареи, остриев и чувствительного гальванометра, удалось получить отклонение (стрелки) и таким образом установить тождественность этих видов электричества. В докладе упоминается, что гг. Араго, Ампер и Савари были свидетелями успешного повторения этих опытов. Однако никто другой не подтвердил этого; сами гг. Араго, Ампер и Савари не опубликовали, поскольку мне известно, о своем согласии с результатами этих опытов, а кое-кому получить их не удавалось; поэтому заключения г. Колладона иногда подвергались сомнению и даже отрицались; для меня же важно было либо установить их правильность, либо совершенно исключить их из числа признанных экспериментальных фактов. Я рад сообщить, что результаты моих опытов полностью согласуются с результатами г. Колладона; мне не стоило бы останавливаться на их описании, если бы они не были весьма существенны, как доказательство справедливости окончательных и общих заключений, которые я могу сделать в отношении магнитного и химического действия электричества (360, 366, 367, 377 и т. д.).

¹ Demonferrand, Manuel d'Electricité dynamique, стр. 121.

² Annales de Chimie, XXXIII, стр. 62.

290. Диск электрической машины, которой я пользовался, имеет в диаметре пятьдесят дюймов; у машины имеется два ряда щеток; ее главный кондуктор состоит из двух латунных цилиндров, соединенных между собой третьим, так что полная длина их оказывается равной двенадцати футам, а поверхность соприкосновения с воздухом — 1422 квадратным дюймам. При хорошем возбуждении один оборот диска дает от кондукторов десять или двенадцать искр, длиной в один дюйм каждая. Легко можно получить от кондукторов искры или свечение длиной от десяти до четырнадцати дюймов. При вращении с умеренной скоростью каждый оборот машины занимает примерно $\frac{4}{5}$ секунды.

291. Электрическая батарея состояла из пятнадцати одинаковых банок. Они оклеены до высоты восьми дюймов над основанием и имеют по двадцать три дюйма в окружности, так что каждая из них содержит сто восемьдесят четыре квадратных дюйма стекла, оклеенного с обеих сторон; здесь не приняты в расчет днища, которые изготовлены из более толстого стекла и содержат примерно по пятьдесят квадратных дюймов каждое.

292. Был устроен хороший разрядный провод; для этого достаточно толстый провод металлически соединялся с домовыми металлическими газовыми трубами, с металлическими трубами городской газовой сети Лондона и с металлическими трубами Лондонского водопровода; разрядный провод действовал настолько хорошо, что мгновенно уводил электричество самого слабого напряжения, даже электричество от одного гальванического элемента; он оказался существенным для многих опытов.

293. Гальванометром служил один из двух описанных выше (87, 205), но стеклянный колпак, покрывающий его и поддерживающий стрелку, был изнутри и снаружи оклеен станиолом, а верхняя его часть (оставленная неоклеенной для того, чтобы можно было наблюдать движение стрелки) была прикрыта проволочной сеткой, из которой торчало множество тонких остриев. Когда я соединял эту раму и обе обкладки разрядным проводом (292), то на расстоянии одного дюйма от любого места гальва-

нометра можно было помещать изолированное острие или же шар, соединенный с машиной, которая работала с максимальной скоростью, и, тем не менее, на стрелку внутри [гальванометра] не обнаруживалось действия в смысле обычных электрических притяжений или отталкиваний.

294. В связи с этими предосторожностями может быть необходимо пояснить, что намагничение стрелки гальванометра легко может быть нарушено, ослаблено и даже изменено на обратное при прохождении через прибор удара. Если стрелка при прохождении удара расположена хоть немного косо и неправильно относительно катушек гальванометра, то такого рода действия неизбежны.

295. Я рассчитывал, что благодаря задерживающим свойствам плохих проводников, стремящихся ослабить напряжение электричества, не изменяя его количества, удастся сообщить обыкновенному электричеству характерные особенности и действия гальванического электричества в большей мере, чем, по обычным представлениям, оно ими обладает.

296. Сначала обкладка и броня гальванометра были соединены с разрядным проводом (292); конец *B* (87) провода гальванометра был соединен с внешней обкладкой батареи, а затем оба они — с разрядным проводом; конец *A* провода гальванометра был соединен с разрядным стержнем посредством смоченного шнура в четыре фута длиною; и, наконец, когда после примерно сорока оборотов машины батарея зарядилась положительно, был произведен разряд через гальванометр через посредство стержня и шнура. Стрелка немедленно пришла в движение.

297. В течение того промежутка времени, когда стрелка завершала колебание в своем первом направлении и возвращалась обратно, машина приводилась в действие, и батарея заряжалась вновь и вновь; и когда стрелка возобновляла движение в первоначальном направлении, через гальванометр снова производился разряд. Повторяя эту операцию несколько раз, можно было размах колебаний довести приблизительно до 40° по обе стороны от положения равновесия.

298. Это действие можно было получать по произволу. Оно, видимо, не изменялось ни по направлению, ни по силе при замене длинного тонкого шнура короткой толстой веревкой или даже четырьмя короткими толстыми веревками. С более чувствительным гальванометром можно было получить прекрасное отклонение стрелки уже после одного разряда батареи.

299. Если изменить соединения гальванометра на обратные так, чтобы разряд проходил через него в направлении от *B* к *A*, стрелка отклоняется так же сильно, но в противоположном направлении.

300. Отклонения (стрелки) имели такое же направление, какое они имели бы при пропускании через гальванометр гальванического тока, т. е. положительно заряженная обкладка электрической батареи соответствовала положительному полюсу гальванического прибора (268), а отрицательно заряженная обкладка — отрицательному полюсу.

301. Затем батарея была выключена, а соединения устроены таким образом, что ток от главного кондуктора с помощью помещенного против него разрядного стержня можно было пропускать через смоченную веревку, через катушку гальванометра и в разрядный провод (292), через который он окончательно рассеивался. Ток этот в любой момент можно было прекратить, удаляя разрядный стержень и либо останавливая машину, либо соединяя главный кондуктор посредством другого стержня с разрядным проводом; столь же мгновенно ток этот можно было возобновить. Стрелка была установлена таким образом, что при малых и средних колебаниях полное прохождение дуги в одном направлении требовало времени, равного двадцати пяти биениям часов; само собой разумеется, что столько же времени требовалось для прохождения стрелки в обратном направлении.

302. При таком устройстве и при неподвижной стрелке гальванометра ток от машины пропускался прямо через гальванометр в течение двадцати пяти биений; затем на следующие двадцать пять биений он прерывался, затем возобновлялся еще на двадцать пять биений, снова прерывался на такое же время и т. д.

Стрелка вскоре начинала колебаться заметным образом, и после нескольких перемен такого рода колебания возрастали до 40° и более.

303. При изменении направления тока через гальванометр направление отклонения стрелки также менялось. Во всех случаях движение стрелки совпадало по направлению с движением, которое получилось бы от электрической машины или же от гальванической батареи (300).

304. Затем я выбросил смоченную веревку и заменил ее медным проводом, так что электричество от машины сразу проходило в провода, непосредственно сообщающиеся с разрядной цепью, причем катушка гальванометра служила одним из проводов, служащих для разряда. Действия оказались точно такими же, как и полученные ранее (302).

305. Вместо того чтобы пропускать электричество через систему, касаясь кондуктора концом разрядного стержня, на последнем было устроено четыре острия; когда нужно было пропустить ток, их подносили на расстояние дюймов двенадцать от кондуктора; в противном случае их поворачивали в сторону. Если затем, за исключением указанного изменения, поступать как ранее (302), то вскоре получается сильное отклонение стрелки в полном соответствии с предшествующими результатами. Чтобы получать свои разряды, Колладон во всех случаях пользовался остриями.

306. Наконец, я пропускал электричество сначала через откачанный сосуд, так что оно в нем напоминало собой северное сияние, а затем через гальванометр в землю; оно и теперь все еще было в состоянии отклонять стрелку и, повидимому, с такой же силой, как и ранее.

307. Из всех этих опытов следует, что ток обыкновенного электричества, независимо от того, через что он пропущен: через воду, металл, или через разреженный воздух, или, с помощью острия, через атмосферный воздух, оказывается, тем не менее, способным отклонять стрелку; повидимому, единственным условием является предоставление ему достаточного времени для

действия. Далее отсюда следует, что он является во всех отношениях на деле столь же магнитным, как и гальванический ток и, следовательно, в этом отношении различий между ними не существует.

308. Для выявления этих действий несовершенные проводники, как вода, раствор поваренной соли, кислоты и т. д. и т. д., оказываются гораздо более удобными, чем разряды другого рода, как, например, разряд между остриями или шарами; дело в том, что несовершенные проводники сразу преобразуют заряд мощной батареи в слабый искровой разряд или, скорее, в непрерывный ток и оказываются мало опасными или даже совершенно безопасными в смысле нарушения магнитного состояния стрелок (294).

309. III. Х и м и ч е с к о е р а з л о ж е н и е. Химическое действие гальванического электричества является характерным для этого агента, но еще более характерны те *законы*, по которым полученные в результате разложения вещества располагаются у полюсов. Д-р Волластон показал,¹ что обыкновенное электричество в отношении этих действий сходно с гальваническим, и «что оба они являются существенно одинаковыми», но он включил в число своих доказательств опыт, в котором имеется не более как сходство с случаем гальванического разложения, что, впрочем, он и сам отчасти понимал; вместо того, чтобы сослаться на другие многочисленные и решающие опыты, которые им подробно описаны, именно на этот опыт особенно часто ссылаются: одни для доказательства того, что здесь происходит электрохимическое разложение, подобное разложению, производимому элементами, а другие — с целью набросить сомнение на весь доклад.

310. Я позволю себе вкратце описать результаты моих опытов, и таким образом к свидетельству Волластона добавить свои доказательства в пользу тождественности гальванического и обыкновенного электричества в отношении химического действия;

¹ Philosophical Transactions, 1801, стр. 427, 434.

я делаю это не только потому, что я могу этим облегчить повторение опытов, но также потому, что могу привести к некоторым новым выводам, относящимся к электрохимическому разложению (376, 377).

311. Прежде всего я повторил четвертый¹ опыт Волластона, при котором концы изолированных серебряных проводов были погружены в каплю сульфата меди. При пропускании электричества от машины через такое устройство тот конец провода в капле, который получал электричество, покрывался металлической медью. Сто оборотов машины производили очевидное, а двести оборотов — весьма уже заметное действие. Разлагаю-

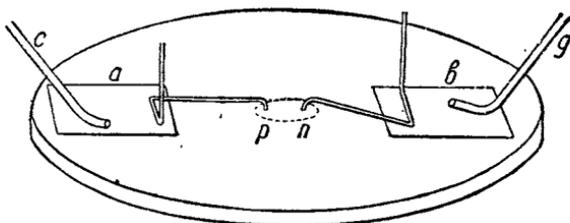


Рис. 44.

щее действие было, однако, очень слабое. Меди осаждалось очень мало, и в растворе не появлялось заметных следов серебра от другого полюса.

312. Значительно более подходящим и действительным устройством для химического разложения с помощью обыкновенного электричества является следующее. Стеклоянная пластинка (рис. 44) была помещена над листом белой бумаги и несколько приподнята над ней, чтобы не мешали тени; на пластинку нужно положить два листка станиоля *a*, *b*; один из них соединяется посредством изолированной проволоки *c*, или проволоки и шнура (301) с машиной, а другой *g* — с разрядным проводом (292) или отрицательным кондуктором; затем надо взять два куска тонкой платиновой проволоки, изогнутой, как изображено на рис. 45;

¹ Philosophical Transactions, 1801, стр. 429.

часть *df* должна быть почти вертикальна, а вся система должна покоиться на трех опорных точках *p*, *c*, *f*, расположенных, как показано на рис. 45; тогда концы *pn* оказываются разлагающимися полюсами. Таким путем по желанию можно получить сколь угодно малую поверхность соприкосновения; соединения можно прерывать и возобновлять мгновенно, а подвергающиеся действию вещества можно наблюдать с величайшей легкостью.

313. На стекле раствором сульфата меди была проведена толстая черта, и туда вставлялись концы *p* и *n*; станиоль *u* был соединен посредством провода и смоченного шнурка с положительным кондуктором машины так, что искры не проскакивали; после двадцати оборотов машины на конце *n* осаждалось такое большое количество меди, что он имел вид медного провода; на конце *p* никаких видимых изменений не было.

314. Смесь равных количеств соляной кислоты и воды была окрашена в темносиний цвет при помощи сернокислой соли индиго, и на стекло (рис. 44) была нанесена большая капля этой смеси, так что *p* и *n* были погружены в нее с противоположных сторон; после первого оборота машины уже обнаруживалось обесцвечивание вокруг *p* благодаря выделявшемуся хлору. После двадцати оборотов около *n* еще не замечалось действий подобного рода, но около *p* освобождалось столько свободного хлора, что если помешать каплю, она вся делалась бесцветной.

315. Около *p* и *n* была помещена таким же образом капля раствора иодида калия, смешанного с крахмалом; при вращении машины иод выделялся около *p*, но не выделялся около *n*.

316. Дальнейшее усовершенствование устройств этого вида заключается в том, что смачивают лист фильтровальной бумаги подлежащим исследованию раствором и помещают его на стекло под концами *p* и *n*; бумага задерживает выделившееся вещество в месте его образования, благодаря своей белизне делает видимым всякое изменение цвета и дает возможность уменьшить до

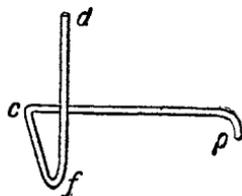


Рис. 45.

крайней степени место соприкосновения между нею и разлагающими проволоками. Кусок бумаги, смоченной раствором иодида калия и крахмала или одного только иодида калия, при известных предосторожностях (322), является прекрасным реактивом на электрохимическое действие. Если его расположить, как указано выше, и подвергнуть действию электрического тока, то появление иода заметно уже после пол-оборота машины. При наличии этих приспособлений и применений иодида калия на бумаге химическое действие оказывается иногда более чувствительным обнаружителем электрических токов, чем гальванометр (273). Так обстоит дело, когда вещества, по которым проходит ток, являются плохими проводниками или когда выделяемое или переносимое в течение заданного промежутка времени количество электричества очень мало.

317. Кусок лакмусовой бумаги, смоченный раствором поваренной соли или сульфата натрия, быстро краснел у конца *p*. Такой же кусок, смоченный соляной кислотой, быстро белел у конца *p*. У конца *n* действий подобного рода не было.

318. Кусок куркумовой бумаги, смоченный раствором сульфата натрия, краснел около конца *n* после двух-трех оборотов машины, а после двадцати-тридцати оборотов получалось обильное выделение щелочи. Если перевернуть бумагу таким образом, чтобы пятно приходилось под концом *p*, а затем привести машину в действие, щелочь быстро исчезает, соответствующее место желтеет, а на новом месте под концом *n* появляется бурое щелочное пятно.

319. Если взять одновременно кусок лакмусовой и кусок куркумовой бумаги, смочить оба раствором сульфата натрия и положить их на стекло таким образом, чтобы конец *p* приходился на лакмусовой, а конец *n* — на куркумовой бумажках, то уже небольшого числа оборотов машины достаточно для того, чтобы выявить выделение кислоты около первого и щелочи около последнего; совсем так, как это производится гальваническим током.

320. Все эти разложения происходили с одинаковым успехом, независимо от того, как проходило электричество: от ма-

шины к станиолю *a* через воду или только через провод, посредством соприкосновения с кондуктором или через искру у него; искры не должны только быть настолько велики, чтобы электричество могло проходить в виде искр от *p* к *n* или по направлению к *n*; и я не вижу оснований предполагать, чтобы при истинном электрохимическом разложении с помощью машины электричество, проходящее в виде искр от кондуктора или от любой точки тока, было способно благодаря своему напряжению действовать сильнее, чем электричество, пропускаемое в виде настоящего тока.

321. Наконец, опыту был придан следующий вид, подтверждающий полнейшую аналогию в этом случае между обыкновенным

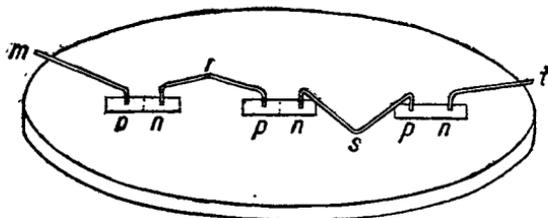


Рис. 46.

и гальваническим электричеством. Три комплекта лакмусовых и куркумовых бумажек (319) были смочены раствором сульфата натра и расположены на стеклянной пластинке с платиновыми проволочками, как это изображено на рис. 46. Проволочка *t* была соединена с главным кондуктором машины, проволочка *t* — с разрядной цепью, а проволочки *r* и *s* были включены в цепь электрического тока через посредство смоченных бумажек; проволочки были согнуты таким образом, что покоились каждая на трех точках: *n*, *r*, *p* и *n*, *s*, *p*; при этом точки *r* и *s* лежали на стекле, а остальные — на бумажках; три конца *p*, *p*, *p* опирались на лакмусовую, а другие три *n*, *n*, *n*, — на куркумовую бумажку. Даже при вращении машины в течение короткого времени около всех полюсов или концов *p*, *p*, *p*, через которые электричество входило в раствор, выделялась кислота, а около

остальных полюсов n , n , n , через которые электричество уходило из раствора, — щелочь.

322. При всех опытах с электрохимическим разложением с помощью обычной машины и смоченных бумажек (316) необходимо принимать во внимание и устранять следующий важный источник ошибок. Если над лакмусовой и куркумовой бумажками проходит искра, то (при условии достаточной чувствительности бумажки и не слишком высокой ее щелочности) она вызывает покраснение лакмусовой бумажки; при прохождении нескольких искр покраснение бумажки делается весьма сильным. Если электричество прежде чем найти вещество и влажность, достаточные для создания проводимости, проходит некоторое протяжение над поверхностью смоченной бумажки, то покраснение последней распространяется до тех же пределов, что и разветвления. Если подобные разветвления возникают около конца n над куркумовой бумажкой, то они не допускают возникновения производимого щелочью красного пятна, которое в противном случае должно было бы здесь образоваться; искры и разветвления от точки n вызывают также покраснение лакмусовой бумажки. Если бумагу, смоченную раствором иодида калия (который является изумительно чувствительным индикатором электрохимического действия), подвергнуть действию искр, или разветвлений, или даже слабого истечения электричества через воздух с острия p или n , то немедленно выделяется иод.

323. Эти действия не должно смешивать с действиями, вызываемыми истинными электрохимическими способностями обыкновенного электричества, и их надо тщательно избегать, когда желательно наблюдать последние. Поэтому ни в одной точке тока нельзя допускать проскакивания искры и повышения напряжения, в результате чего электричество могло бы проходить между платиновыми проволочками и смоченными бумажками как-нибудь иначе, а не путем проводимости, ибо если электричество пробьет воздух, то последует вышеупомянутое (322) действие.

324. Самое действие вызывается образованием азотной кислоты, путем соединения кислорода и азота воздуха, и в действи-

тельности является лишь более тонким воспроизведением прекрасного опыта Кэвендиша. Образующаяся таким образом, хотя и в малом количестве, кислота находится по отношению к воде в состоянии высокой концентрации и вызывает затем покраснение лакмусовой бумажки, либо предотвращает появление щелочи на куркумовой бумажке, либо, действуя на иодид калия, выделяет иод.

325. Смачивая очень маленькую полоску лакмусовой бумажки раствором едкого кали и пропуская над ней и вдоль нее электрическую искру, я постепенно нейтрализовал щелочь и, в конце концов, добивался покраснения бумажки; высушив ее, я обнаружил, что в результате этой операции получился нитрат кали, и что бумажка превратилась в зажигательную.

326. Таким образом лакмусовая бумага или же белая бумага, смоченная раствором иодида калия, дает прекрасный, простой и быстрый способ иллюстрировать опыт Кэвендиша по получению азотной кислоты из атмосферы.

327. Я уже имел случай упомянуть об одном из произведенных д-ром Волластоном опытов (265, 309), к которому слишком часто возвращаются как те, кто возражает против правильности его взглядов о тождественности гальванического и обыкновенного электричества, так и те, кто с ними согласен. Волластон покрывал тонкие проволоки стеклом или другими изолирующими веществами; он снимал затем лишь столько вещества, чтобы обнажить конец или сечение провода, и пропускал электричество через два таких провода, защищенные концы которых были погружены в воду; он обнаружил при этом, что вода могла быть разложена даже током от машины, без искровых разрядов, и что от концов проводов поднимались кверху две струи газа, по внешнему виду в точности напоминающие струи, получающиеся при гальваническом электричестве и представляющие, подобно последним, смесь кислорода и водорода. Однако д-р Волластон сам замечает, что действие это отлично от действия гальванического элемента, так как и кислород и водород образуются около обоих полюсов; он называет это действие «очень

точной имитацией гальванических явлений», но добавляет, что «в действительности сходство не является полным» и не полагается на него при установлении принципов, правильно изложенных в его работе.

328. Этот опыт является ни более ни менее, как усовершенствованным повторением опыта, произведенного в 1797 г. д-ром Пирсоном (Pearson), а еще ранее — гг. Пэтсом ван Трооствиком и Дейманом (Paets van Troostwick a. Deiman) в 1789 г. или несколько ранее. Что этот опыт отнюдь нельзя приводить в качестве доказательства истинного электрохимического разложения, достаточно очевидно из того обстоятельства, что закон, управляющий переносом и окончательным расположением образующихся веществ (278, 309), в данном случае не соблюдается. Вода разлагается независимо около обоих полюсов, а кислород и водород, образующиеся около проводов, представляют собой составные элементы той воды, которая находилась в этих местах в предыдущий момент. Что полюсы, или, вернее, концы проявляют свое разлагающее действие независимо друг от друга, можно доказать тем, что если заменить один из них проводом или пальцем, это не оказывает никакого действия на другой, хотя и прекращает всякое действие около замененного полюса. Этот факт можно наблюдать, если вращать в течение некоторого времени машину. Хотя от оставленного неизменным острия пузырьки газа поднимаются при этом в количестве, достаточном для того, чтобы целиком покрыть служащий для соединения другой провод, если бы их можно было расположить по нему, — на этом проводе не образуется ни единого пузырька.

329. Имеются веские основания думать, что при электрохимическом разложении количество разложенного вещества пропорционально не напряжению, а количеству прошедшего электричества (320). В последующей части настоящего доклада (375, 377) я буду в состоянии представить некоторые доказательства этого. Но в рассматриваемом опыте дело обстоит не так. Если при данных двух остриях пропускать электричество от машины в виде искр, то выделяется определенное количество

газа; но если сделать искры короче, то газа выделяется меньше; если же искр не пропускать, то освобождается едва заметное количество газа. Если заменить воду раствором сульфата натра, то даже при сильных искрах удастся получить лишь едва заметное количество газа, а с помощью одного тока не удастся получить почти ничего, хотя количество электричества, прошедшего за данный промежуток времени, было во всех этих случаях одинаково.

330. Я не стану отрицать, что с помощью такого устройства обыкновенное электричество может разлагать воду, подобно тому, как это делает электричество гальванического элемента; в настоящее время я думаю, что оно может это сделать. Но когда получается только то действие, которое я считаю истинным, количество выделяющегося газа настолько мало, что я не мог удостовериться, что это был (как это должно быть) кислород у одного провода и водород — у другого. Из двух струй одна казалась более обильной, чем другая, а при обратном расположении прибора более обильную струю давала опять та же самая по отношению к машине сторона. При замене чистой воды раствором сульфата натра такие небольшие струившиеся же наблюдались. Однако количества газа были столь малы, что после полурасовой работы машины мне не удалось получить ни у одного полюса пузырька газа, превосходящего по размерам небольшую песчинку. Если выведенное мною по вопросу о величине химического действия (377) заключение правильно, то это так и должно быть.

331. Мне тем более хотелось установить истинное значение этого опыта, как доказательства электрохимического действия, что мне придется сослаться на него в случаях ожидаемого химического действия магнито-электрических и других электрических токов (336, 346), а также в других местах. Но независимо от этого, теперь уже не может быть сомнений в том, что д-р Волластон был прав в своем основном заключении, и что гальваническое и обыкновенное электричества обладают способностью производить химическое разложение, одинаковое по своей

природе и управляемое одним и тем же законом в отношении расположения элементов.

332. IV. Физиологические действия. Обыкновенное электричество способно производить удар и сокращения животного организма, а при слабой интенсивности действовать на язык и глаза; если принять во внимание интенсивность одного электричества и продолжительность действия другого, то эту способность можно рассматривать как тождественную с подобной же способностью гальванического электричества. В цепь тока обыкновенного электричества от батареи (291), которая была заряжена восемью — десятью¹ оборотами хорошо действующей машины (290), вводилась влажная нить, и разряд производился посредством платиновых лопаточек через язык или десны; тогда действие на язык и глаза получалось точно такое же, как от слабого кратковременного гальванического тока.

333. V. Искра. Всем знакома красивая вспышка, сопровождающая разряд обыкновенного электричества. По яркости она соперничает с сиянием, сопровождающим разряд гальванического электричества, а может быть, даже превосходит его в значительной степени. Но разряд этот продолжается лишь в течение одного мгновения и сопровождается резким треском, как бы от небольшого взрыва. Тем не менее, в нем, особенно при определенных условиях, можно без всяких затруднений узнать такую же искру, как искра от гальванической батареи. Глаз не способен обнаружить различий между искрами гальванического и обыкновенного электричества, когда они получаются между амальгамированными поверхностями металла, лишь через определенные промежутки времени и через одинаковые воздушные промежутки.

334. При разряде лейденской батареи (291) через влажный шнур, введенный в цепь вдали от места прохождения искры, искра получалась желтоватой, похожей на пламя; продолжительность ее была заметно больше, чем в отсутствии воды; длина равнялась примерно трем четвертям дюйма; сопровождалась

¹ Или даже тридцать — сорока.

она лишь слабым треском, который иногда даже совершенно отсутствовал; утратив часть своих обычных особенностей, искра до некоторой степени приближалась к гальванической. Когда задерживаемое водой электричество разряжалось между кусками древесного угля, оно было чрезвычайно ярко и блестяще у обеих поверхностей угля, напоминая яркость гальванического разряда между такими же поверхностями. Разряд электричества, производившийся через уголь без задержки, был ярким у обеих поверхностей (напоминая в этом отношении гальваническую искру), но при этом получался громкий, резкий, звонкий шум.

335. Согласно, как я думаю, с мнением всех остальных ученых, я полагал, что атмосферное электричество обладает той же природой, что и обыкновенное (284); я мог бы поэтому сослаться на некоторые опубликованные данные о химических действиях атмосферного электричества, как на доказательство того, что обыкновенному электричеству наравне с гальваническим присуща способность химического разложения. Но сравнение, которое мною проводится, является слишком строгим для того, чтобы можно было пользоваться этими данными, не имея полной уверенности в их правильности; тем не менее, я не имею права умалчивать о них, так как, если они соответствуют истине, то они устанавливают то, под что я пытаюсь подвести прочный фундамент, и имеют приоритет по сравнению с моими результатами.

336. Женевский ученый г. Бонжоль (Bonjol)¹ построил, как говорят, весьма чувствительный прибор для разложения воды с помощью обыкновенного электричества. При соединении этого прибора с изолированным громоотводом разложение воды происходило непрерывно и быстро, даже в том случае, когда атмосферное электричество не было особенно мощным. Прибор этот не описан, но поскольку указывается, что диаметр провода очень мал, то прибор по своей конструкции, повидимому, схож с прибором Воластона (327), а поскольку в последнем случае

¹ Bibliothèque Universelle, 1830, XLV, стр. 213.

наблюдаемое нами разложение не является примером настоящего полярного электрохимического разложения (328), то и результат, полученный г. Бонижолем, не доказывает тождественности химического действия обыкновенного и гальванического электричеств.

337. На той же самой странице *Bibliothèque Universelle* говорится, что г. Бонижоль произвел разложение *поташа*, а также хлорида серебра; для этого он помещал их в узкие трубки и пропускал над ними электрические искры от обыкновенной машины. Очевидно, что эти явления не представляют никакой аналогии со случаями истинного гальванического разложения, при котором электричество только тогда разлагает подвергаемое его действию вещество, когда оно им проводится, и перестает разлагать его, согласно обычным законам разложения, когда оно проходит в виде искр. Эти действия, вероятно, отчасти аналогичны тому, что происходит с водой в приборах Пирсона или Волластона; может быть, они обусловлены очень высокой температурой, действующей на небольшие массы вещества; их можно также поставить в связь с теми результатами, которые получены в воздухе (322). Поскольку под действием электрической искры (324) азот может непосредственно соединяться с кислородом, то нет ничего невозможного в том, что он будет отнимать его от кали в поташе, тем более, что всегда останется достаточно кали в соприкосновении с действующими частичками, чтобы соединиться с образовавшейся азотной кислотой. Как бы ни были отличны эти действия от настоящих полярных электрохимических разложений, они, тем не менее, в высокой степени важны и достойны изучения.

338. В прошлом году покойный г. Бэрри представил Королевскому обществу доклад,¹ настолько отчетливый в своих деталях, что он как будто сразу доказал тождественность химического действия обыкновенного и гальванического электричества; однако при более внимательном изучении возникают значительные

¹ *Philosophical Transactions*, 1831, стр. 165.

трудности при согласовании одних действий с другими. Бэрри пользовался двумя трубками; в каждой из них через закрытый конец проходила проволочка, как это обычно делается при гальваническом разложении. Трубки были наполнены раствором сульфата натра, подкрашенным фиалковой настойкой, и соединены обычным способом посредством некоторого количества того же раствора; проволочка в одной трубке была соединена посредством позолоченной нити с веревкой изолированного электрического змея, а проволочка в другой трубке, посредством такой же позолоченной нити, — с землей. Вскоре в трубке, соединенной со змеем, появлялся водород, а в другой — кислород; через десять минут жидкость в первой трубке позеленела от выделившейся щелочи, а жидкость в другой трубке покраснела от образовавшейся свободной кислоты. Единственное указание на силу или интенсивность атмосферного электричества заключается в выражении «при прикосновении к веревке ощущались обычные удары».

339. Что в этом случае электричество не похоже на получаемое из обычных источников обыкновенное электричество, видно из целого ряда обстоятельств. Посредством обыкновенного электричества Волластону не удалось произвести разложения воды в таком приборе и получить газы в *отдельных* сосудах; равным образом никому из многочисленных ученых, пользовавшихся такими приборами, не удавалось получить посредством тока от машины подобного разложения ни воды, ни нейтральной соли. Недавно я в течение четверти часа пробовал большую машину (290) в полном действии; в течение этого времени было произведено семьсот оборотов, и никаких заметных действий получено не было, хотя машина должна бы давать при этом значительно более сильные и частые удары, чем те, которые можно извлечь без всякой опасности из веревки электрического змея; а из приводимого далее (371) сравнения будет видно, что для того, чтобы обыкновенное электричество давало такое же действие, количество его должно быть ужасно велико и, повидимому, значительно превосходить то, которое можно отвести в землю с помощью

позолоченной нити; в то же время от него получались лишь «обычные удары».

340. Что электричество в этом случае не было, повидимому, аналогичным гальваническому электричеству, это ясно из того, что получались только «обычные удары», отнюдь не похожие на ужасные ощущения, производимые гальванической батареей, даже в том случае, когда напряжение ее настолько мало, что даваемый ею разряд не проходит через воздушный промежуток в одну восьмую дюйма.

341. Возможно, конечно, что проходящий мимо змея и веревки воздух был в таком электрическом состоянии, которое достаточно лишь для получения «обычных ударов», но мог, тем не менее, отдавши электричество вниз, возобновлять заряд и таким образом поддерживать ток. Веревка была в 1500 футов длиною и состояла из двух двойных нитей. Однако, если принять во внимание, какое огромное количество [электричества] нужно было таким образом собрать (371, 376), то приведенное объяснение представляется весьма сомнительным. Я зарядил гальваническую батарею, содержащую двадцать пар пластин, площадью по четыре квадратных дюйма, с двойными медными пластинами, очень хорошо изолировал ее, соединил ее положительный полюс с разрядным проводом (292), а ее отрицательный полюс — с прибором, подобным прибору г. Бэрри; он был присоединен к проводу, опущенному на глубину трех дюймов во влажную почву. Устроенная таким образом батарея производила слабые разлагающие действия, соответствующие, насколько я мог судить, описанию, даваемому г. Бэрри. Напряжение ее было, конечно, гораздо ниже, чем у электричества, получаемого из веревки змея, но подача электричества из разрядного провода была не ограничена. Схема не давала ударов, сравнимых с «обычными ударами» из веревки змея.

342. Было бы весьма важно повторить и проверить опыт г. Бэрри. Если он подтвердится, это будет, насколько мне известно, первый отмеченный случай настоящего электрохимического разложения воды посредством обыкновенного электричества; он

даст нам в руки источник электрического тока такого вида, который как по количеству, так и по напряжению является как раз промежуточным между током от обычной электрической машины и током от гальванической батареи.

III. Магнито-электричество

343. Напряжени е. Вызываемые напряжением обычного электричества притяжения и отталкивания успешно наблюдались с электричеством, полученным с помощью магнито-электрической индукции. При помощи особого прибора, остроумного по своей конструкции и мощного по своему действию, ¹ Пиксии (Pixii) удалось получать значительное расхождение золотых листочков электрометра. ²

344. [Электричество] в движении. I. Выделенн и е теп ла. Ток, получаемый с помощью магнито-электрической индукции, подобно обыкновенному электричеству, может нагреть провод. В июне этого года я имел удовольствие совместно с г. Гаррисом, профессором Даниэлем, г. Дунканом и другими производить перед Британской ассоциацией наук в Оксфорде опыты, для которых я воспользовался большим магнитом из музея, новым электрометром г. Гарриса (287) и магнито-электрической катушкой, описанной в моем первом докладе (34). Последняя была видоизменена, как это описано в другом месте, ³ таким образом, что при замыкании и размыкании ее контакта с магнитом получалась электрическая искра. Концы спирали были устроены так, что контакт между ними нарушался, когда должна была проходить искра; они были соединены с нитью электрометра; было обнаружено, что при каждом замыкании и размыкании магнитного контакта внутри прибора происходило расширение воздуха, что указывало на возрастание температуры провода в этот момент.

¹ Annales de Chimie, L, стр. 322.

² Там же, стр. 77.

³ Phil. Mag. and Annals, 1832, XI, стр. 405.

345. II. Магнетизм. Эти токи были открыты благодаря их магнитному действию.

346. III. Химическое разложение. Я многократно пытался произвести химическое разложение с помощью магнитного электричества, но безуспешно. В прошедшем июле мною было получено анонимное, с тех пор опубликованное¹ письмо, в котором описывается магнито-электрический прибор для разложения воды. Так как автор пользуется термином «защищенные острия», то я полагаю, что это был прибор типа Волластоновского (327 и т. д.); в таком случае результаты не могут служить для обнаружения полярного электрохимического разложения. Недавно синьор Ботто (Botto) опубликовал некоторые полученные им² результаты, которые, однако, в том виде, в каком они описаны, не убедительны. Он пользовался, очевидно, прибором д-ра Волластона, а показания, которые этот прибор дает, обманчивы (327 и т. д.). Поскольку магнито-электричество может производить искры, действия, которые оно должно давать, как раз таковы, как и дает этот прибор. Однако упомянутый уже прибор г. Пиксии³ дал как в его руках, так и в руках г. Гашетта⁴ решающие химические результаты, являющиеся, таким образом, завершающим звеном в цепи доказательств. С помощью этого прибора была разложена вода, а кислород и водород получались в отдельных трубках в соответствии с законом, управляющим разложением, с помощью гальванического электричества и электричества от машины.

347. IV. Физиологические действия. Сокращения конечностей лягушки были получены еще в самых ранних опытах с этими токами (56). Ощущение на язык и искра перед глазами, которые я сначала получал лишь в слабой степени (56),

¹ Lond. and Edinb. Phil. Mag. and Journal, 1832, I, стр. 161.

² Там же, 1832, I, стр. 441.

³ Annales de Chimie, LI, стр. 77.

⁴ Там же, LI, стр. 72.

с тех пор благодаря более мощным установкам усилились настолько, что стали даже неприятными.

348. **В. Искра.** Слабая искра, которая была сначала получена мною при помощи этих токов (32), была видоизменена и усилена синьорами Нобили, Антинори и др., и теперь не остается сомнений в том, что она тождественна с обыкновенной электрической искрой.

IV. Термоэлектричество

349. Что касается термоэлектричества (этой прекрасной формы электричества, открытой Зеебеком), то уже самые условия, при которых оно возбуждается, не дают основания надеяться, что напряжение его можно будет повысить в сколько-нибудь значительной степени, подобно напряжению обыкновенного электричества; поэтому нельзя ожидать от него действий, получающихся от электричества в этом состоянии. Совокупность данных, говорящих об аналогии между термоэлектричеством и описанными ранее видами электричества, заключается, я считаю, в следующем: **Н а п р я ж е н и е.** Притяжения и отталкивания, производимые напряжением определенной величины, не наблюдались. **В виде токов: I. Образование тепла.** Мне неизвестно, чтобы наблюдалась его способность повышать температуру. **II. Магнетизм.** Оно было открыто и лучше всего распознается по его магнитным действиям. **III. Химического разложения** посредством термоэлектричества получено не было. **IV. Физиологические действия.** Нобили¹ показал, что эти токи могут вызывать сокращение конечностей лягушки. **V. Искру** до сих пор увидеть не удалось.

350. Отсутствуют или оказываются слабыми только те действия, которые зависят от высокого напряжения; и если обыкновенное электричество свести в этом отношении до степени, подобной термоэлектричеству, то оно не сможет производить никаких действий, помимо тех, которые производит последнее.

¹ Bibliothèque Universelle, XXXVII, стр. 15.

V. Животное электричество

351. После ознакомления с опытами Уолша (Walsh),¹ Ингенгусса (Ingenhousz),² Кэвендиша,³ сэра Г. Дэви⁴ и д-ра Дэви⁵ у меня не остается сомнений в том, что электричество электрического ската тождественно с обыкновенным и гальваническим электричеством; я думаю, что и у других осталось так мало сомнений, что я смело могу воздержаться от подробного принципиального обоснования этой тождественности. Сомнения, высказанные сэром Г. Деви, были устранены его братом д-ром Дэви, поскольку выводы последнего оказались прямо противоположными выводам первого. В настоящее время совокупность данных сводится к следующему:

352. **Н а п р я ж е н и е.** Заметных притяжений или отталкиваний, обусловленных напряжением, не наблюдалось.

353. **П р и д в и ж е н и и:** I. **Образование тепла** до сих пор не наблюдалось. У меня почти нет и даже совсем нет сомнений в том, что с электрометром Гарриса его бы удалось заметить (287, 359).

354. **II. Магнетизм.** Совершенно отчетливый. Согласно д-ру Дэви,⁶ ток намагничивал стрелку; производя намагничение, он подчинялся в отношении направления тому же самому закону, которому подчиняются токи обыкновенного и гальванического электричества.

355. **III. Химическое разложение.** Также отчетливое. И хотя д-р Дэви пользовался прибором, по конструкции сходным с прибором д-ра Волластона (327), тем не менее, в этом случае ошибки не возникало, потому что разложение носило характер полярного и по природе своей было настоящим электрохимическим. По направлению магнита было установлено,

¹ Philosophical Transactions, 1773, стр. 461.

² Там же, 1775, стр. 1.

³ Там же, 1776, стр. 196.

⁴ Там же, 1829, стр. 15.

⁵ Там же, 1832, стр. 259.

⁶ Philosophical Transactions, 1832, стр. 260.

что нижняя поверхность рыбы была отрицательной, а верхняя — положительной; при химических разложениях серебро и свинец осаждались на проводе, присоединенном к нижней поверхности, и не осаждались на другом; если провода были из стали или серебра и были погружены в раствор поваренной соли, газ (водород?) поднимался от отрицательного провода и совсем не поднимался от положительного.

356. Вторым доводом за то, что разложение было *электрохимическим*, является то, что если бы прибор Волластона был построен с проводами, покрытыми сургучем, то он, по всей вероятности, не разлагал бы воду даже особым свойственным ему путем, разве что интенсивность электричества повысилась бы настолько, что в некотором участке цепи начали бы получаться искры; но скат не способен производить заметные искры. Третий довод заключается в том, что чем чище вода в приборе Волластона, тем более обильно идет разложение; и я даже нашел, что машина и концы проводов, работавшие вполне успешно с дистиллированной водой, совершенно отказывались действовать, когда проводимость воды улучшали прибавлением сульфата натра, поваренной соли или других солей. Д-р Дэви в своих опытах с электрическим скатом с успехом пользовался *крепкими* растворами соли, нитрата серебра и ацетата свинца; несомненно, что с крепкими растворами дело шло лучше, чем с более слабыми.

357. IV. Физиологические действия. Они являются настолько характерными, что главным образом благодаря им были установлены особые свойства электрического ската и электрического угря.

358. V. Искра. Искра до сих пор не была получена, по крайней мере я так думаю. Однако мне, пожалуй, лучше обратиться к имеющимся по этим вопросам данным. Гумбольдт (Humboldt), сообщая о результатах, полученных шведским ученым г. Фальбергом (Fahlberg), говорит: «Этот ученый наблюдал электрическую искру подобно тому, как ее до него наблюдали Уолш и Ингенгусс в Лондоне, когда он поместил электрического

угря в воздухе и прервал проводящую цепь с помощью двух золотых листочков, наклеенных на стекло на расстоянии одной линии друг от друга.¹ Однако мне не удастся найти никаких данных о соответствующих наблюдениях Уолша или Ингенгусса, и я не знаю, где отыскать данные о наблюдении г. Фальберга. Самому г. Гумбольдту не удалось наблюдать светового эффекта. Далее сэр Джон Лесли (John Leslie) в своем рассуждении о развитии математических и физических наук, предпосланном седьмому изданию «Британской энциклопедии» (Эдинбург, 1830, стр. 622), говорит: «От здорового экземпляра» *Silurus electricus*; подразумевая скорее электрического угря, «выставленного в Лондоне, в затемненной комнате получались яркие искры». Однако он не говорит, что видел их сам, и не указывает, кто их видел; мне же не удастся найти хоть какое-нибудь сообщение об этом явлении; так что это утверждение является сомнительным.²

359. Заканчивая перечень свойств электричества скатов, я не могу не указать на то огромное абсолютное количество электричества, которое пускается в оборот этим животным при каждом его усилии. Сомнительно, существует ли в настоящее время такая электрическая машина, которая была бы в состоянии давать электричество в количествах, достаточных для того, чтобы в течение некоторого, не слишком большого промежутка времени произвести истинное электрохимическое разложение воды (330, 339); в то же время током от электрического ската это достигнуто. Такое же высокое соотношение дают и магнитные действия (296, 371). Эти обстоятельства указывают на то, что электрический скат обладает способностью (вероятно, таким путем, как это описано у Кэвендиша) непрерывно выделять электричество в течение заметного промежутка времени, так что последовательные разряды напоминают скорее разряды действующего с перерывами гальванического устройства, чем раз-

¹ Edinburgh. Phil. Journal, II, стр. 249.

² Г-ну Брэйли (Brayley), который указал мне на эти сообщения и который обладает обширными познаниями в области упоминаемых фактов, неизвестны какие-либо дальнейшие сообщения по этому вопросу.

ряды многократно подряд заряжаемой и разряжаемой лейденской батареи. Впрочем, на деле между этими двумя случаями нет физического различия.

360. Общее заключение, которое, как я полагаю, следует сделать из этой совокупности фактов, состоит в том, что отдельные виды *электричества тождественны по своей природе, каков бы ни был их источник*. Явления, присущие пяти перечисленным типам или видам электричества, различаются друг от друга не по своей природе, а лишь количественно, и в этом отношении варьируют в соответствии с имеющимися обстоятельствами в смысле количества и напряжения [электричества];¹ последние можно произвольно изменять почти для каждого из видов электричества в тех же самых пределах, в каких они меняются при переходе от одного вида к другому.

Таблица установленных опытным путем действий, присущих всем отдельным видам электричества, получаемым от различных источников²

	Физиологич. действия	Отклонение магнитных стрелок	Способность намагничивать	Искра	Нагревательная способность	Истинное химическое действие	Притяжение и отталкивание	Разряд через нагретый воздух
1. Гальваническое электричество . . .	×	×	×	×	×	×	×	×
2. Обыкновенное электричество . . .	×	×	×	×	×	×	×	×
3. Магнитоэлектричество	×	×	×	×	×	×	×	
4. Термоэлектричество	×	×	+	+	+	+		
5. Животное электричество	×	×	×	+	+	×		

¹ Термин *количество* является для электричества, пожалуй, достаточно определенным и понятным; термин *напряжение* поддается точному определению гораздо труднее; я пользуюсь этими терминами в их обычном и общепринятом смысле.

² Многие из пустых мест первоначально составленной таблицы могут быть в настоящее время заполнены. Так, с помощью термоэлектричества

РАЗДЕЛ 8

Количественные соотношения между обыкновенным и гальваническим электричеством¹

361. Полагая, что пункт о тождественности отдельных видов электричества установлен удовлетворительным образом, я попытался в дальнейшем получить общую меру или известную количественную связь между электричеством, возбуждаемым посредством машины, и электричеством от гальванической батареи, и не только для того, чтобы подтвердить их тождественность (378), но и для того, чтобы установить некоторые общие принципы (366, 377 и т. д.) и расширить методы исследования и применения химических сил этого изумительного и тонкого агента.

362. Первый подлежащий решению вопрос заключался в следующем: будет ли одно и то же абсолютное количество обыкновенного электричества, если его пропустить через гальванометр, производить при различных условиях одно и то же отклонение стрелки? Поэтому к гальванометру была прикреплена произвольная шкала, каждое деление которой равнялось примерно 4°; прибор был устроен так же, как в предыдущих опытах

Ботто намагнитил магниты и получил полярное химическое разложение, Антинори произвел искру; г. Уаткинс (Watkins) недавно, если это не было сделано еще ранее, наблюдал нагревание проводника в термоэлектрометре Гарриса. Что касается животного электричества, то Маттеуччи (Matteucci) и Линари (Linari) получали искру от электрического ската, а я недавно получил ее от электрического угря; д-р Дэви наблюдал нагревательную способность тока от электрического ската. Поэтому я заполнил соответствующие клетки крестиками, расположенными иначе, чем в первоначальной таблице. Остается только пять пустых мест — два в столбце «Притяжение и отталкивание» и три — в столбце «Разряд через нагретый воздух». Но хотя эти действия до сих пор получены не были, необходимо заключить, что они возможны, так как соответствующая им искра наблюдалась. А если разряд может происходить через холодный воздух, то должно быть налицо и соответствующее напряжение, являющееся единственным добавочным условием для остальных действий.

¹ Для дальнейшей иллюстрации этого вопроса см. pp. 855—873 в седьмой серии. Дек. 1838 г.

(296). Машина (290), батарея (291) и другие части установки были приведены в порядок и, насколько это было возможно; поддерживались в одном и том же состоянии во все время опыта. Опыты производились один за другим таким образом, чтобы можно было заметить всякое изменение в состоянии прибора и вносить необходимые исправления.

363. Семь банок из батареи было изъято, и для интересующего нас опыта было оставлено восемь банок. Было найдено, что после примерно сорока оборотов машины эти восемь банок заряжались до конца. Затем они заряжались тридцатью оборотами машины и разряжались через гальванометр; при этом в цепь был введен толстый смоченный шнур, примерно в десять дюймов длиной. Стрелка немедленно отклонялась на пять с половиной делений в одну сторону от нуля, а при своем колебании проходила почти точно на пять с половиной делений по другую сторону.

364. Затем были добавлены остальные семь банок, и все пятнадцать банок заряжались в течение тридцати оборотов машины. Показания электрометра Генли (Henley) не достигали половины прежнего значения, однако, когда через установленный на нуль гальванометр был произведен разряд, то стрелка немедленно начинала колебаться, доходя в *точности* до того же деления, что и в первом случае. Эти опыты были повторены несколько раз попеременно то с семью, то с пятнадцатью банками, с одинаковыми каждый раз результатами.

365. Затем были произведены другие опыты, в которых действовала целиком вся батарея; заряд ее (полученный от пятидесяти оборотов машины) пропускался через гальванометр; опыт, однако, видоизменялся таким образом, что разряд пропускался иногда через смоченный шнур, иногда — через тридцать восемь дюймов тонкого шнурка, смоченного дистиллированной водой, а иногда — через шнур в двенадцать раз более толстый, но имеющий в длину всего лишь двенадцать дюймов и пропитанный разбавленной кислотой (298). Через толстый шнур заряд проходил сразу; прохождение его через тонкий

шнур длилось заметное время, а при разряде через веревку требовалось две или три секунды для того, чтобы листочки электрометра сблизились до конца. Очевидно, что в этих трех случаях ток должен был очень сильно различаться по своему напряжению, но, тем не менее, отклонения стрелки оставались всегда более или менее одинаковыми. Если и существовало какое-либо различие, то оно заключалось в том, что тонкий шнур и веревка давали наибольшее отклонение; и если, как указывает Колладон, имеет место какая-нибудь утечка через шелк рамки гальванометра, то это так и должно быть, потому что в этих случаях напряжение меньше и утечка менее значительна.

366. Отсюда как будто следует, что если через *гальванометр* проходит одно и то же абсолютное количество электричества, то каково бы ни было его напряжение, сила, отклоняющая магнитную стрелку, остается неизменной.

367. В течение шестидесяти оборотов машины заряжалась затем батарея из пятнадцати банок и, как и раньше, разряжалась через гальванометр. Величина отклонения стрелки теперь почти не отличалась от одиннадцати делений, но градуировка не была достаточно точна для того, чтобы я мог быть уверенным, что отклонение было в точности два раза больше, чем в первом случае; на-глаз казалось, что это так. Чрезвычайно вероятно, что *отклоняющая сила электрического тока прямо пропорциональна прошедшему абсолютному количеству электричества, независимо от напряжения последнего.*¹

368. Д-р Ритчи доказал, что во всех тех случаях, когда напряжение электричества оставалось неизменным, отклонение маг-

¹ Из рассмотрения этих двух выводов становится очевидным большое значение гальванометра вообще в качестве измерителя электричества, проходящего через него — все равно, непрерывно или с перерывами. В той его форме с стеклянным подвесом, как он построен проф. Ритчи, он в этой области, повидимому, не оставляет желать лучшего (см. *Philosophical Transactions*, 1830, стр. 218 и *Quarterly Journal of Science*, новая серия, I, стр. 29).

нитной стрелки было прямо пропорционально протекшему через гальванометр количеству электричества.¹ Г-н Гаррис доказал, что способность обыкновенного электричества *нагревать* металлические провода одинакова в случае равных количеств электричества, каково бы ни было его напряжение до этого.²

369. Следующей задачей было получить гальванический прибор, который бы производил действие, в точности равное только что описанному (367). Платиновая и цинковая проводочки были пропущены через одно и то же отверстие в волочильной доске, в результате чего диаметр их оказался равным одной восемнадцатой дюйма; они были укреплены на штативе, так что нижние концы их выступали и шли параллельно, на расстоянии пяти шестнадцатых дюйма друг от друга. Верхние концы были прочно соединены с проводами гальванометра. Было разбавлено некоторое количество кислоты и после нескольких предварительных опытов за стандартный был принят раствор, состоящий из одной капли крепкой серной кислоты на четыре унции дистиллированной воды. Наконец, было замечено время, в течение которого стрелка совершала одно качание справа налево или слева направо; время это оказалось равным семнадцати биениям моих часов, дающих полтора часа биений в минуту. Эти приготовления имели целью устройство гальванического прибора; прибор этот должен был при погружении в данную кислоту на заданный промежуток времени — гораздо меньший, чем время, в течение которого происходило колебание стрелки в одном направлении, — производить такое же отклонение стрелки прибора, как и разряд обыкновенного электричества от батареи (363, 364). Против платиновой я помещал свежий кусок цинковой проволоки, после чего приступал к сравнительным опытам.

370. Когда цинковая и платиновая проволоки погружались в кислоту на глубину пяти восьмых дюйма и оставались там в течение восьми биений часов (после чего они быстро вынима-

¹ Quarterly Journal of Science, новая серия, I, стр. 33.

² Plymouth Transactions, стр. 22.

лись), стрелка отклонялась и продолжала двигаться в том же направлении некоторое время после того, как гальванический прибор был удален из кислоты. Стрелка достигала деления пять с половиной и затем возвращалась обратно, отклоняясь на такое же расстояние в другую сторону. Этот опыт был повторен много раз, и всегда с одним и тем же результатом.

371. Если судить покуда только по магнитной силе (376), то отсюда как некоторое приближение вытекает; что если взять две проволоки — одну платиновую, а другую цинковую, диаметром каждая в одну восемнадцатую дюйма, поместить их на расстоянии пяти шестнадцатых дюйма и погрузить на глубину пяти восьмых дюйма в кислоту, состоящую из одной капли купоросного масла и четырех унций дистиллированной воды, при температуре около 60° , если соединить их на других концах посредством медного провода в восемнадцать дюймов длиною и одну восемнадцатую дюйма толщиной (такова проволока в катушке гальванометра), то они производят за время, соответствующее восьми биениям моих часов, т. е. за $8/150$ минуты, столько же электричества, сколько электрическая батарея после тридцати оборотов находящейся в порядке (363, 364) машины. Несмотря на кажущееся огромное несоответствие, результаты эти находятся в полном согласии с теми действиями, которые, как нам известно, получаются при изменениях напряжения и количества электрической жидкости.

372. Чтобы получить данные относительно *химического действия*, провода в дальнейшем оставались погруженными в кислоту на глубину пяти восьмых дюйма, и наблюдалось отклонение стрелки в устойчивом состоянии. Насколько можно судить невооруженным глазом, стрелка останавливалась приблизительно на делении $5\frac{1}{3}$. Следовательно, постоянное отклонение такой величины можно рассматривать как указание на наличие непрерывного гальванического тока, который за время, соответствующее восьми биениям моих часов (369), мог бы дать столько же электричества, сколько батарея лейденских банок после тридцати оборотов машины.

373. Из целого ряда изготовленных установок и множества результатов, относящихся к химическому действию, упомяну следующие. Конец платиновой проволоки, диаметром в одну двенадцатую дюйма и в двести шестьдесят гран весом, был сошлифован плоско, так что получилось определенное сечение, равное площади круга того же диаметра, что и проволока; затем она соединялась попеременно то с кондуктором машины, то с гальваническим прибором (369); при этом проволока всегда являлась положительным полюсом и все время сохраняла вертикальное положение, чтобы она могла опираться всем своим весом на реактивную бумажку. Реактивная бумажка лежала на платиновой лопаточке, которая присоединялась либо к разрядному проводу (292), либо к отрицательному проводу гальванического прибора; она состояла из четырех слоев, всегда в одинаковой степени смоченных стандартным раствором гидридата кали (316).

374. При соединении платиновой проволоки с главным кондуктором машины, а лопаточки — с разрядной цепью, после десяти оборотов машины получалось разлагающее действие, выражавшееся в появлении бледного круглого пятна иода с диаметром, равным диаметру проволоки; двадцать оборотов давали значительно более темный след, а после тридцати оборотов появлялось темное бурое пятно, проникавшее до второго слоя бумаги. Различие в действии, получавшееся при изменении числа оборотов на два-три, легко обнаруживалось.

375. Затем провод и лопаточка были соединены с гальваническим прибором (369), причем гальванометр также был включен в установку; был приготовлен более концентрированный раствор азотной кислоты в воде; гальванический прибор был погружен в него настолько, что получалось постоянное отклонение стрелки, равное $5\frac{1}{3}$ деления (372); сложенная вчетверо смоченная бумага попрежнему входила в цепь. Затем конец проволоки перемещался по реактивной бумажке с места на место; наблюдалось действие тока в течение пяти, шести, семи или какого-либо другого числа биений часов (369), и дей-

ствие это сравнивалось с действием машины.¹ При многократных, попеременных повторениях этих сравнительных опытов неизменно оказывалось, что данный стандартный ток гальванического электричества, продолжавшийся в течение восьми биений часов, был равен по своему химическому действию тридцати оборотам машины; двадцати восьми оборотов машины было, несомненно, мало.

376. Отсюда следует, что как в отношении *магнитного отклонения* (371), так и в отношении *химической силы* ток электричества от стандартной гальванической батареи, длившийся в течение восьми биений часов, был равен току, производимому тридцатью оборотами машины.

377. Отсюда также следует, что для этого, а вероятно и для всех случаев электрохимического разложения, *химическая сила, подобно магнитной силе* (366), *прямо пропорциональна абсолютному количеству проходящего электричества.*

378. Отсюда вытекает и дальнейшее подтверждение, — если оно еще нужно, — того, что обыкновенное и гальваническое электричество тождественны, и что различиями в напряжении и количестве вполне можно объяснить все то, что принято считать за отличительные свойства этих электричеств.

379. То расширение фактов и умозаключений, образующих теорию электрохимического разложения, которое я смог сделать на основании настоящих исследований, равно как и некоторые другие положения учения об электричестве, будут в ближайшее время представлены Королевскому обществу в другой серии настоящих исследований.

Королевский институт.

15 декабря 1832 г.

Примечание. Я желал бы, и получил на это разрешение, сделать к настоящему докладу добавление, чтобы исправить указание на ошибку, приписанную мною г. Амперу в первой серии настоящих экс-

¹ Для компенсации действия включенного теперь плохого проводника необходимо, конечно, было усилить мощность гальванической батареи.

периментальных исследований. Упомянув об его опыте по индукции электрических токов (78), я называл диском то, что следовало называть кругом или кольцом. Г-н Ампер пользовался для опытов кольцом, — вернее, очень коротким цилиндром, сделанным из узкой медной пластинки, согнутой в виде круга; он сообщает мне, что с помощью такого приспособления движение получается очень легко. Я не сомневался в том, что г. Ампер получал описанное им движение, и только ошибался в типе подвижного проводника, которым он пользовался, и в этом отношении допустил ошибку в описании его *опыта*.

В том же самом параграфе я указывал: г. Ампер говорит, что диск вращался так «как если бы стремился занять положение равновесия, в точности совпадающее с тем, которое заняла бы сама спираль, если бы ей была предоставлена свобода движения»; далее я указывал, что мои выводы скорее приводят к результатам, обратным *высказанному г. Ампером положению, что ток электричества стремится привести электричество проводников, вблизи которых он проходит, в движение одинакового с ним направления*. В только что полученном мною письме г. Ампер сообщает, что при описании опыта он тщательно избегал каких-либо указаний на направление индуцированного тока, и, просмотрев цитированные им параграфы, я вижу, что в самом деле это так. Таким образом в вышеупомянутых сообщениях я был по отношению к нему неправ и спешу исправить свою ошибку.

Однако, чтобы нельзя было подумать, что я написал упомянутые слова легкомысленно, я вкратце приведу те основания, которые у меня имелись для такого истолкования. Первоначально опыт не удавался. Он был успешно произведен примерно год спустя в Женеве, совместно с г. де ля Ривом; этот последний описал полученные результаты и говорит,¹ что согнутая в виде круга медная пластина, служившая им подвижным проводником, «иногда шла между ветвями (подковообразного) магнита вперед, а иногда отталкивалась, в соответствии с направлением тока в окружающих проводниках».

Я привык ссылаться на «Руководство по динамическому электричеству» Демонферрана как на книгу, пользующуюся авторитетом во Франции и содержащую в систематизированном изложении относящиеся к этой отрасли знания основные данные и законы, полученные вплоть до времени ее опубликования. На стр. 173 автор при описании этого опыта говорит: «Подвижный круг поворачивается так, чтобы занять положение равновесия, которое занял бы проводник, несущий ток *того же направления, что и спираль*»; в том же самом параграфе он добавляет: «Таким образом доказано, что ток электричества стремится привести

¹ Bibliothèque Universelle, XXI, стр. 48.

электричество проводников, облизн которых он проходит, в движении одинакового с ним направления. Это как раз те слова, которые я цитировал в своем докладе (78). Le Luscée от 1 января 1832 г., № 36, в статье, написанной после получения моего первого эпололучного письма г. Гашетту и до напечатания моих докладов, обсуждает направление индуцированных токов, и говорит, что *«элементарный ток должен получаться в том же направлении, как соответствующий участок индуцирующего тока»*. Немного дальше говорится: «Таким образом мы должны бы получить токи, движущиеся в том же направлении, индуцированные в металлическом проводе с помощью либо магнита, либо тока. Г-н Ампер был настолько твердо убежден в том, что таково должно быть направление тока, полученного путем влияния, что и сносом опыте в Женеве не счел нужным этого проверить».

Ясные утверждения в «Руководстве» Демонферрана, согласные с выражениями в статье де ля Рива (как я понимаю теперь, они, однако, означают лишь то, что при изменении индуцирующего тока движение подвижного круга также меняется) и не противоречащие ничему, высказанному по поводу опыта самим г. Ампером, заставили меня в моем докладе прийти к заключению, что написанное мною действительно представляет собой подлинное мнение г. Ампера; и когда появился упомянутый номер Le Luscée, что произошло ранее напечатания моего доклада, то он не мог зародить во мне никаких подозрений в том, что я ошибался.

Отсюда ошибка, в которую я невольно впал. Я рад случаю исправить ее и отдать полную дань той проницательности и точности, которые, насколько я разбираюсь в этих вопросах, г. Ампер вносит во все отрасли естествознания, им изучаемые.

Наконец в моем примечании к п. 79 говорится, что в № 36 Le Luscée за истинные принимает ошибочные выводы гг. Френеля и Ампера и т. д. и т. д. Называя выводы г. Ампера ошибочными, я имел в виду выводы, упомянутые и описанные в самом «Le Luscée»; однако в *настоящее время*, когда выражение, относящееся к направлению индуцированного тока, приходится отбросить, выражение *«ошибочное»* к ним больше не приложимо.

29 апреля 1833 г.

М. Ф.

ЧЕТВЕРТАЯ СЕРИЯ

Раздел 9. О новом законе электрической проводимости. Раздел 10. Общие соображения об электрической проводимости.

Поступило 24 апреля. — Доложено 23 мая 1833 г.

РАЗДЕЛ 9

О новом законе электрической проводимости¹

380. При своих исследованиях по вопросу об электрохимическом разложении (о них мне еще предстоит доложить Королевскому обществу), я натолкнулся на проявления оставшегося до сих пор неизвестным весьма *общего закона* электрической проводимости; это обстоятельство помешало мне в получении искомого результата, но кратковременное разочарование было сторицей уравновешено тем новым и важным значением, которое найденные явления представляют для обширного отдела учения об электричестве.

381. Я работал со льдом и твердыми веществами, получаемыми замораживанием растворов; я применял их либо в качестве барьера, пересекавшего подлежащие разложению вещества, либо непосредственно в качестве полюсов гальванической батареи, так, чтобы можно было проследить и изолировать некоторые элементы в процессе их переноса; ход моих исследований внезапно прервался, когда я обнаружил, что лед при таких об-

¹ Дальнейшие соображения относительно этого закона см. пп. 910, 1358, 1705. Дек. 1838 г.

стоятельствах оказывается непроводником электричества; как только я включал тонкий слой льда в цепь очень мощной гальванической батареи, передача электричества этим предотвращалась, и всякое разложение прекращалось.

382. Сначала опыты производились с обыкновенным льдом во время холодной морозной погоды, наступившей в самом конце января 1833 г., однако вследствие несовершенства установок результаты получались неверные, и поэтому была принята следующая, более безупречная форма опыта.

383. Были изготовлены открытые с одного конца оловянные сосуды в пять дюймов высотой; они имели один с четвертью дюйма в одном направлении и от трех восьмых до пяти восьмых дюйма в другом. Внутри них, с помощью пробок, были укреплены платиновые пластинки, не касавшиеся оловянных стенок; к пластинкам были предварительно припаяны медные проволоки, которыми пластинки, когда нужно было, легко было соединить с гальваническим элементом. Затем в сосуд была налита дистиллированная вода, предварительно кипевшая в течение трех часов; вода замораживалась посредством смеси снега с солью, так что между платиной и оловом получался чистый, прозрачный твердый лед; эти металлы были, наконец, присоединены к противоположным концам гальванического прибора; одновременно в цепь был включен гальванометр.

384. В первом опыте платиновый полюс имел три с половиной дюйма в длину и семь восьмых дюйма в ширину; он был целиком погружен в воду или в лед, и так как сосуд имел в ширину четыре восьмых дюйма, то толщина промежуточного слоя льда в среднем равнялась не более четверти дюйма, тогда как поверхность соприкосновения льда у обоих полюсов была около четырнадцати квадратных дюймов. После того как вода замерзала, сосуд все еще оставлялся в охлаждающей смеси; в то же время олово и платина соответственно присоединялись к концам хорошо заряженной батареи, состоявшей из двадцати пар пластин (медные — двойные), площадью по четыре квадратных дюйма. Ни малейшего отклонения стрелки гальванометра не происходило.

385. Далее я вынимал замороженный прибор из охлаждающей смеси и подогревал дно оловянного сосуда; при этом часть льда расплавлялась; в это время соединения с батареей сохранялись; стрелка гальванометра сначала не отклонялась; проводимость появлялась только тогда, когда процесс плавления заходил настолько далеко, что таяла часть льда, соприкасающаяся с платиновым полюсом, но после этого происходило весьма сильное действие, и стрелка гальванометра оставалась все время отклоненной почти на 70° .

386. В другом опыте платиновая лопаточка в пять дюймов длиной и в семь восьмых дюйма шириной погружалась на четыре дюйма в лед; толщина слоя льда между двумя металлическими поверхностями равнялась всего трем шестнадцатым дюйма; тем не менее, этот прибор изолировал столь же совершенно, как и первый.

387. Если в верхний конец сосуда наливалось небольшое количество воды, прибор все-таки не проводил электричества, хотя жидкая вода там, несомненно, имелась. Этот результат объясняется тем, что холодные металлы замораживали воду в месте соприкосновения с ней и изолировали, таким образом, жидкую часть; этот факт хорошо иллюстрирует непроводящие свойства льда, показывая, насколько тонкого слоя его достаточно для того, чтобы воспрепятствовать прохождению тока батареи. Проводимость появлялась по расплавлению этой тонкой пленки, на участках, которые прилегали к *обоим* металлам.

388. Оловянный сосуд был нагрет, и кусок льда был удален; при этом обнаружилось, что пробка соскользнула, и потому один из краев платиновой пластинки почти соприкасался с оловянным сосудом; и все же, несмотря на чрезвычайную тонкость промежуточного слоя льда, не наблюдалось прохождения ощутимого количества электричества.

389. Эти опыты повторялись многократно с одними и теми же результатами. Наконец, была взята хорошо заряженная батарея, состоявшая из пятнадцати ящиков, иначе из ста пятидесяти пар пластин, площадью по четыре квадратных дюйма.

но даже и в этом случае тонкая ледяная диафрагма не пропускала ощутимых количеств электричества.

390. Сначала казалось, что иногда наблюдаются случайные отклонения от этих действий, но их всегда можно было объяснить некоторыми посторонними причинами. Во всех случаях вода должна быть хорошо заморожена; правда, нет необходимости в том, чтобы лед простирался от полюса до полюса, поскольку тонкой ледяной преградой вокруг одного из них достаточно для предотвращения проводимости; но если часть воды остается жидкой, то уже одного оставления прибора на воздухе или приближения к нему рук достаточно для того, чтобы на *верхней поверхности* воды и льда образовалась тонкая пленка жидкости, простирающаяся от платины к олову, а тогда возникает проводимость. Далее, если служащие для укрепления платины пробки окажутся влажными или мокрыми изнутри, то охлаждение должно быть достаточно сильно, чтобы вода внутри них замерзла; в противном случае, если поверхность соприкосновения их с оловом слегка нагреется от теплоты рук, это место окажется проводящим, а поскольку внутренняя часть также обладает проводимостью, то ток будет проходить. Вода должна быть чистой не только для того, чтобы не получалось запутанных результатов, но также и для того, чтобы по мере замораживания не могло образоваться небольшого количества концентрированного раствора соли; если последний останется жидким и распределится внутри льда или проникнет в образовавшиеся при сжатии трещины, то он может обнаруживать проводящие свойства, независимо от самого льда.

391. В одном случае я, к своему удивлению, обнаружил, что проводимость не восстановилась после того, как большое количество льда растаяло; но потом я нашел, что пробка, поддерживающая проводник как раз в том месте, где он соединен с платиной, так глубоко погрузилась в лед, что вместе с самим льдом предохраняла платину от соприкосновения с расплавленной частью еще долгое время спустя после того, как можно было ожидать контакта.

392. Это изолирующее свойство льда перестает быть действительным для электричества повышенной интенсивности. Если привести электрометр с отклоненным золотым листочком в соприкосновение с проводом, соединенным с платиной, и в то же время к оловянному сосуду прикоснуться рукой или другим проводом; электрометр мгновенно разряжается (419).

393. Правда, если электричество обладает столь малым напряжением, что уже не вызывает расхождения листочков электрометра, оно все же может проходить через лед (хотя и в весьма ограниченных количествах (419)); тем не менее, различие в поведении воды и льда по отношению к электричеству гальванического прибора остается столь же поразительным и столь же важным по своим последствиям.

394. Мне казалось неправдоподобным, чтобы этот закон *приобретения проводимости во время плавления и потери ее во время замерзания* составлял отличительное свойство воды; поэтому я тотчас же приступил к проверке его действия в других случаях и нашел, что он является весьма общим. Для этой цели были выбраны вещества, находящиеся при обыкновенной температуре в твердом состоянии, но легко плавящиеся, и притом такого состава, что в силу других соображений, связанных с электрохимическим действием, можно было полагать, что в расплавленном состоянии они смогут заменить воду в качестве проводников. В качестве источника электричества служила гальваническая батарея из двух сосудов, иначе из двадцати пар пластин площадью по четыре квадратных дюйма (384); в цепь был введен гальванометр, который должен был обнаруживать наличие или отсутствие тока.

395. Я расплавил на осколке флорентийской колбы, с помощью спиртовой лампы, небольшое количество хлорида свинца и ввел в него две платиновые проволоочки, соединенные с полюсами батареи; мгновенно возникало сильное действие; действие на гальванометр было очень сильно, и хлорид быстро разлагался. При удалении лампы в момент затвердевания хлорида как ток, так и производимые им действия совершенно прекра-

щались, хотя платиновые проволочки оставались погруженными в хлорид на расстоянии не более одной шестнадцатой дюйма друг от друга. При возобновлении нагрева сейчас же начиналось прохождение тока, как только плавление продвигалось настолько, что жидкость соединяла собой полюсы.

396. Если расплавить хлорид, заранее введя в него одну проволочку, и касаться жидкости другой, последняя, будучи холодной, вызывает образование на своем конце небольшого твердого шарика, и ток не проходит; явление проводимости, и притом весьма значительной, возникало лишь после того, как проволочка становилась настолько горячей, что мог установиться контакт с жидким веществом.

397. При подобных же опытах с хлоридом серебра и хлоратом кали получались точно такие же результаты.

398. В этих случаях при каждом прохождении тока всегда происходило разложение вещества; однако электрохимическую часть этого вопроса я предполагаю связать в будущем докладе ¹ с более общими соображениями.

399. Другие вещества, которые нельзя было расплавить на стекле, расплавлялись с помощью лампы и паяльной трубки на платине, соединенной с одним полюсом батареи, а затем в них погружался провод, соединенный с другим полюсом. Этим путем хлорид натрия, сульфат натра, протоксид свинца, смесь карбонатов кали и натра и т. д. и т. д. обнаруживали точно такие же явления, как описанные выше: в жидком состоянии они проводили ток и разлагались, в твердом же состоянии, несмотря на весьма высокую температуру, они были изоляторами тока

¹ Г. Дэви еще в 1801 г. знал, что «безводная селитра, едкие кали и натр, расплавленные сильным нагреванием, являются проводниками гальванического электричества» (*Journal of the Royal Institution*, 1802, стр. 53), но он не имел представления об общем законе, который я стараюсь здесь развить. Замечательно, что одиннадцать лет спустя Дэви говорил: «Мы не знаем жидкостей, за исключением содержащих воду, которые могли бы служить средой, соединяющей металл или металлы гальванического прибора» (*Elements of Chemical Philosophy*), стр. 169.

батареи, даже в том случае, когда последняя состояла из четырех сосудов.

400. Иногда вещества помещались в небольшие изогнутые трубки из зеленого стекла; после расплавления вещества с обеих сторон трубки вводились внутрь платиновые полюсы (рис. 47). В таких случаях в основном наблюдались такие же результаты, как и вышеописанные, но получалось дальнейшее преимущество; а именно, в то время как вещества оказывались проводящими и претерпевали разложение, можно было наблюдать конечное распределение элементов.

Так, иодиды калия и свинца выделяли иод у положительного полюса, а у отрицательного — калий и свинец. Хлориды свинца и серебра давали хлор у положительного и металлы у отрицательного полюсов; селитра и хлорат калия выделяли кислород и т. д. у положительного и щелочь, или даже калий, у отрицательного полюса.

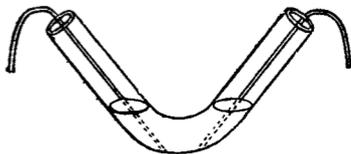


Рис. 47.

401. Для веществ, требующих для своего расплавления очень высоких температур, было испытано еще четвертое устройство. С одним полюсом батареи была соединена платиновая проволочка; конец ее для опытов с паяльной трубкой был изогнут в виде небольшого кольца, как это описано у Берцелиуса; небольшое количество соли, стекла или иного вещества расплавлялось на этом кольце с помощью обыкновенной паяльной трубки или, в некоторых случаях, даже с помощью гремучего газа, и когда капля, которая удерживалась кольцом на месте, вся насквозь оказывалась горячей и жидкой, к ней прикасались проводом от противоположного полюса батареи и наблюдали получаемые действия.

402. Ниже приведены различные вещества, принадлежащие к сильно разнящимся в химическом отношении группам; все они подчиняются этому закону. Перечень таких веществ можно было бы, несомненно, расширить до громадных размеров, но

у меня времени хватило лишь на то, чтобы подтвердить закон на достаточно большом числе примеров.

Прежде всего вода. Из окислов — поташ, протоксид свинца, сурьмяное стекло, протоксид сурьмы, окись висмута.

Хлориды калия, натрия, бария, стронция, кальция, магния, марганца, цинка, меди (прото-), свинца, олова (прото-), сурьмы, серебра.

Иодиды калия, цинка и свинца, протоиодид олова, периодид ртути, фторид калия, цианид калия, сульфо-цианид калия.

Соли. Хлорат кали; нитраты кали, натра, бария, стронция, свинца, меди и серебра; сульфаты натра и свинца, протосульфат ртути; фосфаты кали, натра, свинца, меди; фосфорное стекло или кислый фосфат кальция, карбонаты кали и натра в смеси и отдельно; бура, борат свинца, перборат олова, хромат кали, бихромат кали, хромат свинца, ацетат кали.

Сернистые соединения. Сернистая сурьма, сернистый калий, полученный восстановлением сульфата кали водородом, обыкновенный сернистый калий.

Силикат кали; минеральный хамелеон.

403. На примере тех веществ, которые перед расплавлением размягчаются, особенно интересно наблюдать, в какой именно стадии у них обнаруживается проводимость и до какой степени она повышается при достижении совершенно жидкого состояния. Так, при нагревании на стекле с помощью лампы борат свинца становился мягким, как патока, но не проводил электричества; он делался проводящим только после того, как с помощью паяльной трубки был доведен до яркокрасного каления. После полного расплавления он проводил электричество очень хорошо.

404. Я не стану отрицать, что в этих случаях размягчения увеличение проводимости отчасти вызывалось возрастанием температуры (432, 455), но у меня нет сомнений в том, что значительно большая часть действия обязана своим существованием влиянию уже доказанного общего закона, который в этих случаях вступал в силу не внезапно, а постепенно.

405. Следующие вещества не приобретали проводимости при переводе их в жидкое состояние: сера, фосфор, иодистая сера, периодид олова, аурипигмент, реальгар, ледяная уксусная кислота, смесь маргариновой и олеиновой кислот, искусственная камфара, кофеин, сахар, трупный воск, стеарин из кокосового масла, спермацет, камфара, нафталин, канифоль, сандараксовая смола, шеллак.

406. У перхлорида олова, хлорида мышьяка и гидратированного хлорида мышьяка в жидком состоянии нельзя было с помощью гальванометра обнаружить заметной проводимости; равным образом вещества эти не разлагались.

407. Некоторые из вышеупомянутых веществ замечательны как исключения из общего закона, справедливого в предыдущих случаях. К таковым относятся аурипигмент, реальгар, уксусная кислота, искусственная камфара, периодид олова, а также хлориды олова и мышьяка. Я буду иметь случай упомянуть о них в докладе об электрохимическом разложении.

408. С помощью пламени гремучего газа (401) борная кислота была доведена до наивысшей возможной температуры, но, тем не менее, не приобрела проводимости, достаточной для действия на гальванометр, а также не претерпела заметного разложения. Она казалась таким же плохим проводником, как воздух. Зеленое бутылочное стекло, подогретое таким же образом, не приобретало проводимости, ощутимой для гальванометра. Сильно разогретый флинтгласс являлся слегка проводящим и разлагался, а при повышении содержания в стекле поташа или же окиси свинца действия усиливались. Сорта стекла, содержащие борную кислоту, с одной стороны, и окиси свинца или калия, с другой, ясно обнаруживали приобретаемую ими при расплавлении проводимость и сопровождающее ее разложение.

409. Мне очень хотелось произвести основной опыт с серной кислотой удельного веса около 1.783 и с таким содержанием воды, которое делает смесь способной кристаллизоваться при 40° по Фаренгейту; однако, кислота, которую оказалось

возможным получить, была неподходящего сорта и не давала уверенности в том, что весь раствор будет замерзать даже при 0° по Фаренгейту. Достаточно разницы в одну десятитысячную часть против необходимого количества воды, чтобы при охлаждении всего раствора отделилась часть незамерзающей жидкости и чтобы жидкость, оставшаяся в промежутках твердой массы и смачивающая плоскости раздела, препятствовала правильному наблюдению явлений, наступающих при полном затвердении и при последующем расплавлении.

410. У веществ, приобретающих проводимость при сжижении, степень сообщаемой им таким путем способности является, вообще говоря, очень высокой. Вода представляет собой как раз то вещество, для которого приобретаемое при этом свойство оказывается наиболее слабым. В различных окисях, хлоридах, солях и т. д. и т. д. оно проявляется в значительно более высокой степени. У меня не было времени измерить в этих случаях проводимость, но она превосходит проводимость чистой воды, повидимому, в несколько сот раз. Увеличение проводимости воды, сообщаемое ей, как известно, при добавлении солей, по всей вероятности, в значительной степени зависит от высокой проводимости этих веществ в жидком состоянии; в последнее они превращаются в этом случае посредством не нагревания, а растворения в воде.¹

411. Является ли проводимость этих приведенных в жидкое состояние тел следствием их разложения или нет (413), а также, являются ли эти два действия проводимости и разложения органически связанными друг с другом, — это не может повлиять на вероятность и правильность предыдущего утверждения.

412. Это *всеобщее приобретение проводимости* телами при самом переходе их из твердого в жидкое состояние представляет собой новое удивительное свойство, существование которого, насколько мне известно, раньше не подозревалось; свойство это,

¹ Некоторое сомнение по этому поводу высказано в п. 1356. Дек. 1838 г.

повидимому, тесно связано с некоторыми свойствами и взаимоотношениями частиц материи, на которые я теперь вкратце укажу.

413. Почти во всех наблюдавшихся до сих пор случаях, которые подчиняются этому закону, исследованные вещества представляли собой не просто сложные тела, но тела, содержащие такие элементы, о которых известно, что они располагаются у противоположных полюсов; кроме того, тела эти обладают способностью *разлагаться* под действием электрического тока. При наличии проводимости возникало разложение; когда разложение прекращалось, проводимость также исчезала; поэтому возникает вполне законный и важный вопрос, не является ли самая проводимость везде, где этот закон имеет силу, следствием неспособности к разложению, а самого процесса разложения? И к этому вопросу можно присоединить другой, а именно: не является ли факт уничтожения проводимости при затвердевании просто следствием закрепления частиц на их местах под влиянием агрегации, препятствующей их окончательному разделению в той форме, которая необходима для разложения?

414. Однако, с другой стороны, имеется одно вещество (а могут найтись и другие), именно периодид ртути, которое, будучи, подобно другим, подвергнуто испытанию (400), оказалось изолятором в твердом состоянии и приобретало проводимость в жидком, но, тем не менее, в последнем случае, повидимому, не претерпевало разложения.

415. С другой стороны, имеются вещества, содержащие в себе такие элементы, от которых можно было бы ожидать, что они расположатся у противоположных полюсов гальванического элемента; таким образом эти вещества являются подходящими в данном отношении для разложения; тем не менее, они оказывались непроводящими. Сюда относятся иодистая сера, периодид цинка, перхлорид олова, хлорид мышьяка, гидратированный хлорид мышьяка, уксусная кислота, аурипигмент, реальгар, искусственная камфара и т. д. На основании этих фактов, пожалуй, можно было бы предположить, что разложение обуславливается проводимостью, а не наоборот. Однако истинное соот-

ношение между разложением и проводимостью в телах, подчиняющихся тому общему закону, установление которого является целью настоящего доклада, может быть получено удовлетворительным образом только на основании значительно более обширного числа наблюдений, чем те, которые я до сих пор имел возможность представить.¹

416. Согласно этому закону, соотношение между электропроводностью и теплопроводностью представляется весьма замечательным; оно, повидимому, предполагает наличие естественной связи между этими двумя явлениями. По мере того как твердое вещество становится жидким, оно почти совершенно теряет способность проводить тепло, но в значительной степени приобретает способность проводить электричество, а при возвращении обратно в твердое состояние оно приобретает теплопроводность, но утрачивает электропроводность. Таким образом, если эти свойства и не являются несовместимыми, то они, тем не менее, находятся в весьма резком противоречии друг к другу, поскольку одно из них утрачивается тогда, когда приобретает другое. Может быть, есть надежда в дальнейшем понять физические основания этого весьма необычного соотношения между двумя проводимостями, каждая из которых, повидимому, непосредственно связана с корпускулярным строением рассматриваемых веществ.

417. Приобретение при расплавлении проводимости и способности разлагаться сулит новые возможности и значительное облегчение в отношении гальванического разложения. Так, например, такие вещества, как окиси, хлориды, цианиды, сульфонианиды, фториды, некоторые стеклообразные смеси и т. д. и т. д., могут быть подвергнуты действию гальванической батареи в новых условиях; и действительно, мне уже удалось с помощью десяти пар пластин разложить поваренную соль, хлорид магния, буру и т. д. и т. д. и получить натрий, магний, бор и т. д. и т. д. в свободном состоянии.

¹ См. п. 679 и т. д. Дек. 1838 г.

РАЗДЕЛ 10

Общие соображения об электрической проводимости ¹

418. Я не намерен входить здесь в рассмотрение всех обстоятельств, связанных с явлением проводимости, и приведу лишь, в дополнение к основному запасу сведений, относящихся к этому разделу учения об электричестве, некоторые факты и наблюдения, выявившиеся за время моих недавних исследований.

419. В первую очередь я стремился получить некоторое представление о проводимости льда и твердых солей по отношению к электричеству высокого напряжения (392), для того чтобы можно было произвести сопоставление между самой проводимостью и тем значительным увеличением ее, которое наступает при расплавлении. С этой целью была приведена в хорошее состояние большая электрическая машина (290); кондуктор ее был соединен с чувствительным электрометром (с золотыми листочками), а также и с введенной в лед платиной (383); оловянный же сосуд был соединен с разрядным проводом (292). Когда машина вращалась с умеренной скоростью, золотые листочки едва расходились, при быстром вращении удавалось раздвинуть их почти на два дюйма. В нашем случае оловянный сосуд имел в ширину пять восьмых дюйма; и так как после опыта оказывалось, что платиновая пластина находится очень близко к середине льда, то средняя толщина последнего была равна пяти шестнадцатым дюйма, а площадь соприкосновения его с оловом и платиной — четырнадцать квадратным дюймам (384). Тем не менее, при этих условиях, даже при напряжении, достаточном для того, чтобы раздвинуть листочки на два дюйма, лед с трудом пропускал то небольшое количество электричества, которое была в состоянии давать машина (371). Не удивительно поэтому, что лед оказался не в состоянии пропустить от батареи сколько-нибудь

¹ В качестве примечания к этому разделу см. п. 983 в восьмой серии и связанные с этим выводы. Дек. 1838 г.

заметную долю электричества (384), которое, хотя по количеству и превосходило почти что в бесконечное число раз электричество от машины, но обладало столь низким напряжением, что не было ощутимо для электрометра.

420. В другом опыте оловянный сосуд имел в ширину всего четыре восьмых дюйма, а в дальнейшем было установлено, что помещенная во льду платина находилась на расстоянии менее одной восьмой дюйма от одной из стенок оловянного сосуда. При введении последнего в цепь электрического тока от машины (419), удавалось получить расхождение золотых листочков, но не более как на полдюйма. Незначительная толщина льда благоприятствовала проведению электричества и позволяла одному и тому же количеству электричества проходить за один и тот же промежуток времени, несмотря на значительно более низкое напряжение.

421. В цепь электрического тока от машины был введен расплавленный и потом охлажденный иодид калия. Его имелось два куска, примерно в четверть дюйма толщиной каждый, представлявшие току поверхности примерно по половине квадратного дюйма каждая. Куски эти были помещены на платиновых пластинах, одна из которых была соединена с машиной и электрометром (419), а другая — с разрядным проводом; в то же время тонкая платиновая проволочка соединяла оба куска, опираясь на них своими двумя концами. При вращении машины оказывалось возможным получить расхождение листочков электрометра приблизительно на две трети дюйма.

422. Поскольку платиновая проволочка касалась иодида только в отдельных точках, то факты говорят о том, что данная соль является значительно лучшим проводником, чем лед. Поскольку, однако, листочки электрометра расходились, то очевидно также, с каким трудом это тело в твердом состоянии проводит даже небольшие количества электричества, производимые машиной, если сравнить это с той легкостью, с которой оно, будучи в жидком состоянии, передает огромные количества электричества при очень низких напряжениях.

423. Чтобы подкрепить эти результаты другими, полученными с помощью гальванического прибора, была хорошо заряжена батарея, состоящая из ста пятидесяти [пар] пластин, площадью по четыре квадратных дюйма; батарея действовала прекрасно; она давала сильный удар, разряд между медными электродами мог *длительно существовать* при длине воздушного промежутка в четыре десятых дюйма, и можно было добиться расхождения золотых листочков в электрометре, которым мы пользовались ранее, почти на четверть дюйма.

424. Сосуд, которым мы пользовались для льда (420), имел в ширину полдюйма; так как площадь соприкосновения льда с оловом и платиной равнялась почти четырнадцати квадратным дюймам, то все в целом было эквивалентно пластинке льда с площадью полного контакта в семь квадратных дюймов, а толщиной всего в четверть дюйма. В течение всего опыта сосуд находился в охлаждающей смеси.

425. Порядок расположения в цепи электрического тока был следующий. Положительный полюс батареи был с помощью проволоки соединен с платиновой пластинкой во льду; платина соприкасалась со льдом, лед — с оловянной оболочкой, а оболочка — с проволокой, соединенной с станиолем; на котором лежал один конец согнутой платиновой проволочки (312); другой, служивший для разложения конец этой проволоки опирался на смоченную раствором иодида калия (316) бумагу; бумага была гладко наложена на платиновую лопаточку, соединенную с отрицательным полюсом батареи. Вся часть установки между сосудом со льдом и служившим для разложения концом проволочки включительно была изолирована, так что через проволочку могло проходить только то электричество, которое прошло через сосуд.

426. При таких условиях было обнаружено, что под служившим для разложения платиновым острием медленно проступало бледнобурое пятно иода, что указывает на то, что лед в состоянии проводить небольшую часть электричества, выделяемого гальванической батареей, заряженной до той степени напря-

жения, которую показывал электрометр. Совершенно очевидно, однако, что, несмотря на огромное количество электричества, которое в состоянии давать батарея, последняя в данных условиях являлась значительно худшим прибором, чем машина; в самом деле, машина, обладая значительно более высоким напряжением, т. е. будучи способна раздвигать листочки электрометра на полдюйма или более (419, 420), могла двигать через лед столько электричества, сколько он был в состоянии уводить.

427. Проволочка и раствор иодида калия были в дальнейшем заменены весьма чувствительным гальванометром (205); последний был почти полностью астатическим; стрелка его качалась в обе стороны в течение шестидесяти трех биений часов, дающих в минуту сто пятьдесят биений. Попрежнему обнаруживалось, что ток весьма слаб; стрелка гальванометра отклонялась, но приходилось от трех до четырех раз (297) замыкать и размыкать контакт, прежде чем наблюдалось вполне определенное действие.

428. Я удалил гальванометр, а к концам проводников присоединил две платиновые пластинки; между ними я поместил свой язык так, чтобы весь пропущенный льдом заряд батареи имел возможность идти через язык. Пока я стоял на каменном полу, я ощущал удар и т. д., но когда был изолирован, то не испытывал никакого ощущения. Я полагаю, что лягушка вовсе бы не реагировала или реагировала бы лишь очень слабо.

429. В дальнейших опытах лед заменялся другими твердыми веществами, которые помещались для этой цели под концом служившей для разложения проволочки, на место раствора иодида калия (425). Так, например, на соединенную с отрицательным полюсом батареи лопаточку был положен кусок сухого иодида калия, а на него было помещено острие проволочки, соединенной с положительным полюсом батареи. Очень медленно появлялось бурое пятно иода, что указывало на прохождение небольшого количества электричества, так что в этом отношении результаты совпадали с теми, которые получались при опы-

тах с электрической машиной (421). Когда одновременно с иодидом калия в цепь был введен гальванометр, то лишь с трудом удавалось обнаружить действие на него тока.

430. Достаточно было ввести в цепь кусок предварительно расплавленной и затвердевшей поваренной соли, чтобы почти полностью уничтожить действие на гальванометр. Расплавленный и охлажденный хлорид свинца производил такое же действие. Проводимость этих веществ в *жидком состоянии* очень высока (395, 402).

431. Таким образом действия, получаемые при пользовании обычной машиной и гальванической батареей, находятся в согласии с изложенным в настоящем докладе законом (394), а также с высказанным мною в третьей серии настоящих исследований мнением о тождественности электричеств, происходящих от разных источников (360).

432. Известно, что тепло повышает проводимость многих веществ, особенно для электричества высокого напряжения. Недавно я натолкнулся на необычный случай такого рода (в отношении электричества низкого напряжения, т. е. электричества гальванического элемента), который находится в прямом противоречии с влиянием тепла на металлические тела, как оно наблюдалось и описано сэром Г. Дэви.

433. Веществом, дающим это действие, является сернистое серебро. Для изготовления его сплавлялась смесь осажденного серебра и сублимированной серы; с поверхности сплавленной массы с помощью напильника снималась пленка серебра; сернистое серебро превращалось в порошок, смешивалось с новым количеством серы и вторично расплавлялось без доступа воздуха в трубке из зеленого стекла. Если еще раз снять поверхностный слой помощью напильника или ножа, сернистое соединение можно считать совершенно свободным от несвязанного серебра.

434. Кусок такого сернистого соединения в полдюйма толщиной был помещен между платиновыми поверхностями, которыми заканчивались полюсы гальванической батареи, состояв-

шей из двадцати пар пластин, площадью по четыре квадратных дюйма; в цепь был включен также гальванометр; тогда стрелка последнего слегка отклонялась, указывая на наличие слабой проводимости. Когда я пальцами прижимал сернистое соединение к платиновым полюсам, то проводимость возрастала, поскольку вся система согревалась. Когда под сернистым соединением между полюсами ставилась лампа, проводимость быстро возрастала с нагреванием; в конце концов стрелка гальванометра перескакивала в некоторое определенное положение, и сернистое серебро оказывалось проводящим, как какой-нибудь металл. Если удалить лампу и позволить теплу упасть, наблюдаются обратные действия; стрелка сперва начинала слегка колебаться, затем постепенно теряла свое поперечное направление и, наконец, возвращалась в положение, очень близкое к тому, которое она должна занимать при отсутствии тока через гальванометр.

435. Иногда, при хорошем контакте сернистого соединения с платиновыми электродами, при свежезаряженной батарее и не слишком низкой начальной температуре, одного уже тока электричества от батареи оказывалось достаточно для повышения температуры сернистого серебра, и тогда без всякого нагревания извне происходило повышение одновременно температуры и проводимости до тех пор, пока охлаждающее влияние воздуха не ставило этому предела. В подобных случаях для того, чтобы показать обратный ход явлений, приходилось нарочно охлаждать всю систему.

436. Иногда также действие прекращалось само собой, и его не удавалось возобновить до тех пор, пока сернистое серебро не прикладывалось к положительному полюсу свежей поверхностью. Это явление обусловлено особыми последствиями разложения, к которым я буду иметь случай вернуться в отделе, посвященном электрохимическому разложению; его удавалось избежать, вставляя концы двух кусков платиновой проволоки в противоположные концы некоторого количества сернистого серебра, расплавленного в стеклянной трубке, и помещая весь прибор между полюсами батареи.

437. Горячее сернистое серебро проводит достаточно хорошо и может, подобно металлу, давать яркую искру с древесным углем и т. д. и т. д.

438. Природное серое сернистое серебро, равно как и красная серебряная руда, давали такие же явления. Природное роговое серебро обнаруживало такие же явления, как и искусственное сернистое соединение.

439. Я не знаю ни одного вещества, которое, подобно сернистому серебру, может в горячем состоянии сравниться с металлами в отношении проводимости электричества низкого напряжения и у которого, наряду с этим, в отличие от металлов, проводимость при охлаждении уменьшается, тогда как у металлов она, наоборот, увеличивается. Однако, если поискать, то, вероятно, можно будет найти немало таких веществ.¹

440. Первичное сернистое железо, природное сверхсернистое железо, мышьяковисто-сернистое железо, природная желтая сернистая медь и железо, серая искусственная сернистая медь, искусственный сернистый висмут и искусственное серое сернистое олово — все они более или менее проводят ток гальванической батареи в холодном состоянии, причем некоторые из них, подобно металлам, дают искры, а другие неспособны давать такое сильное действие. В нагретом состоянии они, повидимому, проводят не лучше, чем до того, но у меня не было времени подробно исследовать этот вопрос. Почти все эти вещества сильно нагреваются при прохождении через них тока и представляют в этом отношении некоторые весьма интересные явления. Сернистая сурьма заметно не проводит тока одинаково в горячем и в холодном состоянии, но принадлежит к числу тел, приобретающих проводимость при плавлении (402). Сернистое серебро, а может быть и некоторые другие вещества, разлагается, когда находится в твердом состоянии, но явлениям такого разложения будет отведено надлежащее место в последующих сериях настоящих исследований.

¹ По этому вопросу см. теперь пп. 1340, 1341. Дек. 1838г.

441. Несмотря на крайнее несходство между сернистым серебром и газами или парами, я не могу удержаться от подозрения, что тепло на них действует одинаково, так что их следует отнести к одному и тому же классу проводников электричества, хотя и с теми значительными расхождениями в степени проводимости, которые обнаруживаются при обычных условиях. При нагревании газов их проводимость в отношении как обыкновенного, так и гальванического электричества возрастает (271); и если бы мы газы сжимали и одновременно их сгущали, то, по всей вероятности, добились бы еще дальнейшего увеличения их проводимости. Каньяр де ля Тур (Cagnard de la Tour) показал, что некоторые вещества, скажем воду, можно с помощью тепла так расширить, когда они находятся в жидком, и так сжать, когда они находятся в газообразном состоянии, что оба эти состояния будут совпадать в одной точке, и переход из одного состояния в другое будет настолько постепенным, что нельзя будет провести между ними границы раздела;¹ в действительности эти оба состояния сольются как бы в одно; это единое состояние в отношении некоторых свойств и соотношений представляет в различное время количественные различия, и притом столь значительные, что при обычных условиях они эквивалентны двум различным состояниям.

442. В настоящее время я принужден думать, что в той точке, где жидкое и газообразное состояние совпадают, проводящие свойства для обоих состояний оказываются одинаковыми, но они ослабляются, когда вследствие устранения необходимого давления имеет место расширение вещества с переходом в более разреженную форму; при этом, однако, как и следовало ожидать, остающаяся незначительная проводимость сохраняет способность возрастать под влиянием тепла.

443. Я позволю себе привести следующий перечень явлений электропроводности тел, но боюсь, что опустил некоторые существенные положения.²

¹ *Annales de Chimie*, XXI, стр. 127, 178.

² По этому вопросу см. теперь пп. 1320—1342. *Дек. 1838 г.*

444. Все тела, от металлов до лака и газов, проводят электричество одинаковым образом, но в очень различной степени.

445. При нагревании проводимость одних веществ сильно увеличивается, а других уменьшается; при этом, однако, не обнаруживается никаких существенных электрических различий ни в веществах, ни в изменениях, вызываемых прохождением электричества.

446. Обширный класс веществ, являющихся в твердом состоянии изоляторами для электричества низкого напряжения, в жидком состоянии свободно проводят электричество и тогда им разлагаются.

447. Имеется, однако, множество жидких веществ, которые заметно не проводят электричества такого низкого напряжения; имеются вещества, которые его проводят, но не разлагаются; жидкое состояние не является существенным условием для разложения.¹

448. До сих пор открыто всего одно вещество,² которое, изолируя гальванический ток в твердом состоянии и проводя его в жидком состоянии, в последнем случае не разлагается (414).

449. В настоящее время нельзя провести строгого электрического различия в проводимости между веществами, которые считаются элементами, и теми, которые известны, как химические соединения.

Королевский институт.

15 апреля 1833 г.

¹ См. следующие серии настоящих экспериментальных исследований.

² Вполне возможно, что в дальнейшем, при постановке более точных опытов, это исключение отпадет (см. по этому вопросу пп. 1340, 1341. Дек. 1838 г.).

ПЯТАЯ СЕРИЯ

Раздел 11. Об электрохимическом разложении. Глава I. Новые свойства электрохимического разложения. Глава II. Влияние воды на электрохимическое разложение. Глава III. Теория электрохимического разложения.

Поступило 18 июня · доложено 20 июня 1833 г.

РАЗДЕЛ 11

Об электрохимическом разложении ¹

450. В одной из предыдущих серий настоящих исследований (265) я доказывал — и, по крайней мере, с моей точки зрения, удовлетворительно — тождественность электричеств, происходящих из различных источников, и особенно останавливался на доказательствах тождественности электричеств, получаемых с помощью обычной электрической машины и с помощью гальванической батареи.

451. Большое различие между электричествами, полученными от этих двух источников, заключается в весьма высокой напряженности, до которой может быть доведено то небольшое количество электричества, которое получается с помощью машины, и в тех огромных количествах (371, 376), в которых может быть получено электричество сравнительно низкой напряженности от гальванической батареи. Поскольку, однако, действия как магнитного, химического, так и всякого другого рода по суще-

¹ См. примечание к п. 1047, восьмая серия. Дек. 1838 г.

ству одинаковы для обоих электричеств (360), то представлялось очевидным, что мы могли бы судить о способе действия последнего по поведению первого. И я считал себя вправе заключить, что, если пользоваться электричеством такого напряжения, как электричество, доставляемое машиной, для получения и изучения электрохимического разложения, то это указало бы некоторые новые условия данного действия, способствовало бы развитию новых взглядов на внутреннее перераспределение и изменение разлагаемых веществ и, может быть, дало бы нам в руки могущественные средства для работы над веществом, до настоящего времени еще не разложенным.

452. Чтобы более четко выделить значение отдельных частей настоящей серии, я разделяю всю серию на несколько глав.

ГЛАВА I

Новые свойства электрохимического разложения

453. Электричество, получаемое с помощью машины, хотя в весьма малом количестве, способно благодаря своему напряжению проходить любые расстояния в воде, растворах или других веществах, принадлежащих к разряду проводников, и притом с той скоростью, с какой оно производится, а потому в отношении количества — с той же скоростью, с какой оно бы проходило через значительно более короткие участки того же самого проводящего вещества. В случае применения гальванической батареи дело обстоит совсем не так, и проходящий ток электричества, даваемого ею, претерпевает серьезное уменьшение в любом теле, если взять значительную длину его, особенно же в таких веществах, как вышеупомянутые.

454. Я пытался использовать эту способность передачи тока электричества через любую длину проводника для исследования происходящего в разлагающемся веществе переноса элементов в противоположные стороны по направлению к полюсам. Общий вид служившей для этих опытов установки был описан выше (312, 316), равно как и специальный опыт (319), в котором кусок лакмусовой и кусок куркумовой бумаги были сложены

вместе и смочены раствором сульфата натрия. Конец провода от машины, являющийся положительным полюсом, был положен на лакмусовую бумажку, а приемный конец от разрядного провода (292, 316), являющийся отрицательным полюсом, — на куркумовую бумажку; очень небольшого числа оборотов машины оказывалось достаточно для того, чтобы показать образование кислоты около первого и щелочи около последнего, точно так же, как это имеет место в случае гальванического тока.

455. Затем лакмусовая и куркумовая бумажки были положены каждая на отдельной стеклянной пластинке и соединены посредством изолированного шнура в четыре фута длиной, смоченного тем же раствором сульфата натрия; концы служившего для разложения провода были, как и ранее, положены на эти бумажки. При вращении машины выделение кислоты и щелочи обнаруживалось так же, как в первом случае, и с той же легкостью, несмотря на то, что места их появления находились друг от друга на расстоянии четырех футов. Под конец был взят кусок шнура в семьдесят футов длиной. Он был изолирован в воздухе посредством шелковых подвесов, так что электричество проходило через всю его длину; разложение происходило так же, как и в первых случаях; щелочь и кислота появлялись у двух концов на положенных им местах.

456. Затем для того, чтобы установить, наблюдается ли какое-нибудь ослабление разлагающего действия при таком увеличении размеров смоченного шнура и подвергаемого разложению вещества, какое описано ранее, были произведены опыты как с сульфатом натрия, так и с иодидом калия; однако при равном числе оборотов машины щелочное пятно обнаруживало одну и ту же интенсивность окраски, независимо от того, с какой бумажкой находился в контакте присоединенный к разрядному проводу конец проволоки: с той куркумовой бумажкой, которая касалась главного кондуктора, или с другой куркумовой бумажкой, соединенной с ним при посредстве семидесяти футов шнура. Такие же результаты получались и около другого служившего для разложения провода, независимо от того, что

я брал для опыта: соль или иодид; было окончательно доказано, что такое сильное увеличение расстояния между полюсами не оказывало никакого влияния на количество разложившегося вещества, если только в обоих случаях проходило одно и то же количество электричества (377).

457. Затем отрицательный конец, соединенный с разрядным проводом, куркумовая бумажка и шнур были убраны; положительный конец оставался на лакмусовой бумажке; последней я касался смоченным шнуром, который держал в руке. Небольшое число оборотов машины вызывало на положительном конце такое же быстрое выделение кислоты, как и ранее.

458. Вместо того, чтобы держать смоченный шнур рукой, я подвешивал его конец в воздухе с помощью стекла. При вращении машины электричество двигалось от кондуктора через конец проводника в лакмусовую бумажку, а отсюда — через шнур в воздух, так что, как и в последнем опыте, имелся всего лишь один металлический полюс; тем не менее, выделение кислоты шло так же свободно, как и в каждом из первых случаев.

459. При повторении всех этих опытов с электричеством от отрицательно заряженного проводника получались соответствующие действия, независимо от того, сколько проволок я брал для разложения: одну или две. Результаты всегда одинаковы, имея в виду направление тока.

460. Эти опыты были видоизменены таким образом, что могло проявляться действие только от одного металлического полюса, но не того, который был соединен с машиной. Куркумовая бумажка была смочена раствором сульфата натрия, положена на стекло и соединена с разрядным проводом (292) при посредстве служившей для разложения проволоки; с нее свешивался кусок влажного шнура, нижний конец которого находился против острия, соединенного с главным положительным кондуктором машины. После нескольких оборотов машины около того конца разрядного провода, который лежал на куркумовой бумажке, сейчас же появлялась щелочь. Соответствующие явления имели место и у отрицательного кондуктора машины.

461. Этих примеров более чем достаточно для того, чтобы показать, что для электрохимического разложения не требуется одновременного действия двух металлических полюсов, ибо действие всего одного полюса уже влечет за собой разложение, причем к полюсу перемещается тот или другой из освобождающихся элементов в зависимости от того, каков он: положительный или отрицательный. Размышляя над путем, по которому следует другой элемент, и над его окончательным расположением, я почти не сомневался в том, что найду, что он направился к другому концу, и что самый воздух действовал как полюс. Это предположение было полностью подтверждено следующим образом.

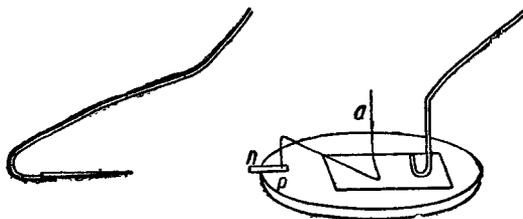


Рис. 48.

462. Кусок куркумовой бумажки, не более 0.4 дюйма длиной и 0.5 дюйма шириной, был смочен сульфатом натрия и помещен на край стеклянной пластинки напротив острия (приблизительно на расстоянии двух дюймов от него), соединенного с разрядным проводом (рис. 48); лежащий на той же стеклянной пластине листок станиоля был соединен с машиной, а также посредством служившей для разложения проволоки *a* — с куркумовой бумажкой (312). Затем машина была приведена в действие, причем положительное электричество входило в куркумовую бумажку в точке *p*, а выходило у конца *n*. После сорока или пятидесяти оборотов машины конец *n* был исследован и два кончика, или угла его были найдены сильно окрашенными благодаря присутствию свободной щелочи (рис. 49).

463. Затем был взят подобный же кусок лакмусовой бумаги *n* (рис. 50); он был смочен в растворе сульфата натра и укреплен на конце *a* разрядного провода, а конец его был поставлен против острия *p*, соединенного с кондуктором машины. После кратковременной работы машины на обоих обращенных к острию углах (бумаги), т. е. на обоих углах, получавших электричество из воздуха, образовалась кислота. Были приняты все меры предосторожности, чтобы предотвратить образование этой кислоты проходящими через воздух искровыми и кистевыми разрядами (322); эти предосторожности и сопровождающие их основные факты достаточно убедительно доказывают, что кислота образовалась действительно в результате электрохимического разложения (466).



Рис. 49.

464. Затем был взят длинный кусок куркумовой бумаги, широкий на одном и суживающийся на другом конце; он был смочен раствором соли и соединен непосредственно с кондуктором машины, так что его суживающийся конец приходился против

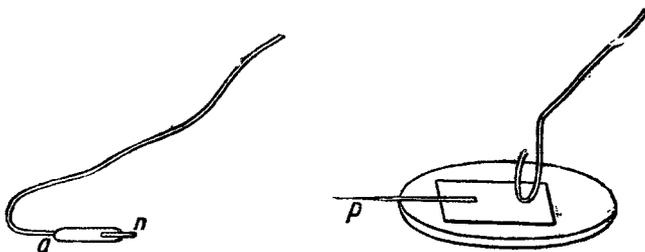


Рис. 50.

острия на разрядном проводе. При вращении машины на этом конце образовалась щелочь; и если даже убрать разрядный провод и предоставить электричеству рассеиваться и уноситься через воздух, щелочь, тем не менее, образуется в тех местах, где электричество выходит из куркумовой бумажки.

465. Далее была взята такая схема, при которой не допускалось металлического соединения с разлагаемым веществом, и

оба полюса (если их можно еще так называть) состояли только из воздуха. Кусок куркумовой бумаги *a* (рис. 51) и кусок лакмусовой бумаги *b* были смочены в растворе сульфата натрия, сложены вместе таким образом, чтобы получился один влажный заостренный проводник, и укреплены воском между двумя остриями игл, одна из которых *p* была соединена с помощью провода с кондуктором машины, а другая *n* — с разрядным проводом. Во всех случаях расстояние между остриями было равно примерно половине дюйма, причем положительное острие *p* находилось против лакмусовой, а отрицательное *n* — против куркумовой бумажки. Затем машину вращали в течение некоторого времени, после чего быстро делалось очевидным разло-

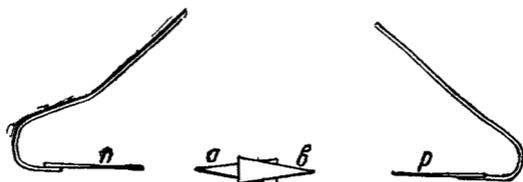


Рис. 51.

жение, так как конец лакмусовой бумажки *b* краснел от выделившейся там кислоты, а конец куркумовой бумажки *a* — от подобного же и одновременного выделения щелочи.

466. Бумажный проводник был перевернут таким образом, чтобы лакмусовый конец отдавал положительное электричество, а куркумовый его получал; тогда при вращении машины в течение короткого времени оба красных пятна исчезали; а так как при продолжении действия машины красное пятно на лакмусовом конце не появлялось вновь, то этим доказывается, что в первом случае (463) явление вызывалось не действием кистевых или просто электрических разрядов, влекущих за собой образование азотной кислоты из воздуха (322).

467. Если сложенные вместе лакмусовую и куркумовую бумажки рассматривать в этом опыте как один проводник,

независимый от машины и разрядного провода, и рассматривать окончательные местоположения образующихся элементов по отношению к этому проводнику, то окажется, что кислота собирается около *отрицательного*, или приемного конца или полюса прибора, а щелочь — около *положительного*, или отдающего конца.

468. На стеклянные пластинки были положены одинаково заостренные концы лакмусовой и куркумовой бумаги; они были соединены шнуром в шесть футов длиною, причем и шнур и бумага были смочены раствором сульфата натрия; острие иглы, соединенной с машиной, было помещено против конца лакмусовой бумажки, а острие другой иглы, соединенной с разрядным проводом, — против куркумовой бумажки. При действии



Рис. 52.

машины на лакмусовой бумажке появлялась кислота, а на куркумовой — щелочь; однако последней было не так много, как ранее, так как значительная часть электричества стекала со шнура в воздух, что уменьшало количество электричества, разряжающегося у куркумового конца.

469. В заключение четыре небольших сложных проводника, состоящих из лакмусовой и куркумовой бумажек (рис. 52), смоченных раствором сульфата натрия, были расположены в ряд на стеклянных палочках, на небольшом расстоянии друг от друга между остриями *p* и *n* машины и разрядного провода, так что электричество могло последовательно проходить через них, входя в них через лакмусовые концы *bb* и выходя через куркумовые концы *aa*. Вращая машину осторожно, чтобы избежать искровых и кистевых разрядов (322), я вскоре получил явное наличие разложения в каждом из смоченных проводников, так как все лакмусовые концы показывали

присутствие свободной кислоты, а все куркумовые — свободной щелочи.

470. При опытах с растворами иодида калия, ацетата свинца и т. д. были получены подобные же действия; поскольку, однако, все они находятся в согласии с вышеописанными результатами, я воздерживаюсь от подробного их описания.

471. Эти случаи электрохимического разложения по своей природе совершенно тождественны с явлениями, производимыми при обычных условиях гальванической батареей, несмотря на значительные различия, потому что полюсы в одном случае имеются, а в другом — их нет; и, во всяком случае, те места цепи, которые обычно называются полюсами, имеют совершенно различный характер; то же относится к окончательному расположению элементов, освобождающихся у пограничных наэлектризованных поверхностей (467). В то же время они указывают на внутренние реакции частей, претерпевающих разложение, и, повидимому, показывают, что сила, действующая при разделении элементов, *проявляется* там, а не у полюсов. Однако я отложу на короткое время (493, 518) рассмотрение этого вопроса, чтобы иметь возможность предварительно рассмотреть другое выясняющееся условие электрохимического разложения.¹

¹ Из примечания к статье сэра Гэмфри Дэви в *Philosophical Transactions* за 1807 г., стр. 31, я узнал (уже после того, как настоящие результаты были получены и описаны), что этот ученый при повторении опытов Волластона с разложением воды посредством обыкновенного электричества (327, 330) пользовался установкой, довольно сходной с некоторыми из описанных мною установок. Он погружал защищенное платиновое острие, соединенное с машиной, в дистиллированную воду и рассеивал электричество из воды в воздух посредством смоченных хлопчатобумажных нитей. Он утверждает, что таким путем он получил кислород и водород *отдельно друг от друга*. Если бы я знал об этом опыте, мне следовало бы сослаться на него в одной из прежних серий настоящих исследований (342), однако опыт этот не устраняет ни одного из моих возражений против применения прибора Волластона для различения истинного химического действия (331).

ГЛАВА II

Влияние воды на электрохимическое разложение

472. Многие ученые придерживаются того мнения, что присутствие воды существенно для электрохимического разложения, а также для выделения электричества в самой гальванической батарее. Поскольку тот элемент, в котором происходит разложение, является лишь одним из элементов батареи, именно таким, в который в целях испытания вводятся специальные вещества, то, весьма вероятно, то, что является существенным условием в одном случае, будет в большей или меньшей степени таково же и в другом. Мнение, что для разложения необходима вода, основано, по всей вероятности, на заявлении, сделанном сэром Гемфри Дэви, что «неизвестны жидкости, за исключением таких, которые содержат воду, которыми бы можно было пользоваться в качестве среды, соединяющей металлы или металл гальванического прибора». ¹ И далее: «Когда приведенное посредством нагревания в жидкое состояние вещество, состоящее из воды, кислорода и воспламеняющегося или металлического вещества, подвергается действию этих проводов, то возникают подобные же явления [разложения]». ²

473. Неправильность этого взгляда, я полагаю, была доказана другими учеными, хотя я и не знаю, на что сослаться для его опровержения. Сам сэр Гемфри Дэви говорил в 1801 г.,³ что безводная селитра, едкое кали и едкий натр, когда они сильным нагреванием доведены до жидкого состояния, являются проводниками гальванизма; однако он, повидимому, считал, что эти вещества, по крайней мере селитра, не претерпевают разложения, так как вышеуказанное утверждение он делал также 11 лет спустя. В 1826 г. он указал также, что тела, не содержащие воды, как расплавленный массикот и хлорат кали, способны, в сочетании с платиной и цинком, образовать мощные

¹ Elements of Chemical Philosophy, стр. 169 и т. д.

² Там же, стр. 144, 145.

³ Journal of the Royal Institution, 1802, стр. 53.

электродвижущие цепи; ¹ однако здесь он говорит о выделении электричества в элементе, а не о действии его после выделения; его слова отнюдь не означают, что его первые ясные заявления относительно *разложения*, по его мнению, нуждаются в каких-либо поправках.

474. Как на окончательное решение вопроса я могу указать на предыдущую серию настоящих экспериментальных исследований (380, 402), где показано, что существуют сотни тел, которые в этом отношении оказывают такое же влияние, как и вода; что среди двойных соединений эффективными оказались окислы, хлориды, иодиды и даже сернистые соединения (402), и что среди более сложных соединений в большом количестве встречались соединения той же эффективности (402) — цианиды, соли и др.

475. Таким образом вода в этом отношении является *не единственным и существенным* веществом, а лишь одним из представителей очень многочисленного класса веществ; и из этого класса она является одним из наихудших в смысле своей способности облегчать проводимость и претерпевать разложение. Основания, в силу которых вода получила на некоторое время столь исключительную и столь мало заслуженную ею репутацию, очевидны и заключаются в необходимости жидкого состояния вообще (394); в том, что из этого класса веществ единственно *только* вода находится при обычных температурах в жидком состоянии; в ее широком применении в качестве хорошего естественного растворителя и в постоянном пользовании ею в силу этого свойства при физических исследованиях, так как она в меньшей степени, чем всякое другое вещество, мешает, вредит явлениям при растворении или выделении тел и осложняет их.

476. Аналогия между разлагающим, или опытным элементом и другими элементами гальванической батареи ведет к почти полной уверенности, что всякое вещество, которое может быть разложено в жидком состоянии, как это описано в моем последнем докладе (402), окажется, если его ввести между металли-

¹ Philosophical Transactions, 1826, стр. 406.

чекскими пластинами элемента, столь же, если не более активным, чем вода. Сэр Гемфри Дэви обнаружил, что такими активными являются массикот и хлорат кали. ¹ Я собирал различные гальванические установки и нашел, что вышеуказанные заключения справедливы. Когда одно из нижеследующих веществ в расплавленном состоянии помещалось между медью и платиной, то получалось более или менее сильное гальваническое действие. Селитра, хлорат кали, карбонат кали, сульфат натра, хлориды свинца, натрия, висмута и кальция, иодид свинца, окись висмута, окись свинца — все они давали электрический ток того же направления, как если бы на металлы действовали кислоты. При действии каждого из этих веществ или же фосфата натра на платину и железо получались еще более сильные гальванические элементы такого же рода. Когда в качестве промежуточного жидкого вещества я брал нитрат или же хлорид серебра, то гальваническое действие имелось, но направление электрического тока было противоположное.

ГЛАВА III

Теория электрохимического разложения

477. Благодаря исключительной красоте и ценности электрохимических разложений, способность гальванического элемента производить разложение вызвала к себе особый интерес; такого интереса не возбуждало ни одно другое свойство элемента. В самом деле, это свойство не только тесно связано с длительным существованием, если не с возникновением электрических явлений, но дало нам прекраснейшие показательные опыты о природе многих сложных тел; в руках Беккереля (Besquerel) оно явилось средством для соединения веществ; оно дало нам много новых соединений, и можно надеяться, что даст еще больше, когда будет изучено основательно.

478. Почти все писавшие на эту тему сходятся в отношении того, что можно считать основными фактами электрохимического

¹ Philosophical Transactions, 1826, стр. 406.

разложения. Факты эти заключаются в разделении подвергаемого действию способного разлагаться вещества на его составные, а иногда и на первичные элементы всякий раз, как оба полюса элемента надлежащим образом приводятся в контакт с этим веществом; в выделении этих составных частей в отдаленных друг от друга точках, а именно у полюсов элемента, где они окончательно освобождаются или же входят в соединение с веществом полюсов; и, наконец, в неизменном устремлении выделяющихся элементов или составных частей к тому или иному полюсу, в соответствии с определенными, хорошо установленными законами.

479. Однако в отношении природы самого процесса, посредством которого эти действия производятся, мнения людей науки сильно расходятся; поскольку же несомненно, что мы сможем лучше использовать это действие, когда мы действительно поймем, каким образом оно происходит, то это различие во мнениях является сильным побуждением к дальнейшему исследованию. Я питаю надежду, что излагаемые далее исследования могут рассматриваться не как накопление подлежащего еще сомнению материала, а как реальный вклад в эту отрасль знания.

480. Необходимо вкратце указать существующие взгляды на электрохимическое разложение для того, чтобы выяснить то противоречивое и неудовлетворительное состояние, в котором они находятся в данное время, а уже потом излагать, что мне представляется более точно согласующимся с фактами. И я осмеливаюсь подвергнуть эти взгляды свободному обсуждению, надеясь, что этим не оскорблю великодушных авторов; ибо я убежден, что если я окажусь прав, то они будут удовлетворены тем, что их взгляды послужили опорной ступенью для развития науки; если же я окажусь неправ, то они простят мне за то рвение, которое ввело меня в ошибку, так как оно было отдано на служение тому самому великому делу, процветания и развития которого и они горячо желали.

481. В 1805 г. Гроттус (Grotthus) специально писал о разложении жидкостей с помощью гальванического электриче-

ства.¹ Он рассматривал элемент как электрический магнит, т. е. как некоторый притягивающий и отталкивающий агент, полюсы которого обладают способностью *притягивать и отталкивать*. Полюс, из которого исходит смоляное электричество, притягивает водород и отталкивает кислород; наоборот, тот, из которого исходит стеклянное электричество, притягивает кислород и отталкивает водород, так что каждый, например, из элементов молекулы воды подвергается действию сил притяжения и отталкивания, которые действуют в противоположных направлениях и *центры действия которых находятся с взаимно противоположных сторон*. Действие каждой силы в отношении молекулы воды, расположенной на пути электрического тока, обратно пропорционально квадрату расстояния, на котором она обнаруживается, давая (это он утверждает) для такой молекулы *постоянную силу*.² Появление элементов на расстоянии друг от друга он объясняет тем, что промежуточные частицы³ претерпевают последовательные разложения и воссоединения; он считает вероятным, что те частицы, которые готовы разделиться около полюсов, соединяются там с двумя электричествами и вследствие этого переходят в газообразное состояние.⁴

482. Прославленная лекция сэра Гемфри Дэви памяти Бэкера о некоторых химических действиях электричества была прочитана в 1806 г. и почти целиком посвящена *электрохимическим разложениям*. Даваемые в ней факты являются высокоценными; эти факты общеизвестны, равно как и основные высказанные в лекции положения. Характер процесса, посредством которого происходят эти явления, указан в весьма общих чертах; они, действительно, настолько общи, что, вероятно, можно было бы наметить дюжину подобных схем электрохимического действия, существенно отличающихся друг от друга и, тем не менее, согласующихся с данным в лекции изложением.

¹ Annales de Chimie, 1806, LVIII, стр. 64.

² Там же, стр. 66, 67, а также LXIII, стр. 20.

³ Там же, LVIII, стр. 68; LXIII, стр. 20.

⁴ Там же, LXIII, стр. 34.

483. Когда сэр Гемфри Дэви выражается более определенно, то, повидимому, приписывает разлагающее действие притяжения полюсов. Так обстоит дело в «общем описании фактов», данном на стр. 28 и 29, а также на стр. 30 *Philosophical Transactions* за 1807 г. На стр. 161 *Elements of Chemical Philosophy* он снова говорит о значительных притягивательных способностях поверхностей полюсов. Он упоминает о вероятности последовательных разложений и воссоединений во всей жидкости, сходясь в этом отношении с Гротгусом,¹ и предполагает, что действия притяжения и отталкивания могут передаваться от металлических поверхностей через весь растворитель,² передаваясь от одной частицы к другой частице того же рода³ и ослабевая при переходе от места расположения полюсов к средней точке, которая является по необходимости нейтральной.⁴ Что касается этого уменьшения силы по мере возрастания расстояния от полюсов, то он указывает, что в цепи, содержащей десять дюймов воды, раствор сульфата кали, помещенный на расстоянии четырех дюймов от положительного полюса, не подвергся разложению, тогда как на расстоянии всего двух дюймов от этого полюса он распадался на соответствующие элементы.⁵

484. Когда в 1826 г. сэр Гемфри Дэви снова писал на эту тему, то заявил, что не находит нужным изменять что-либо в основной теории, изложенной в первоначальном сообщении,⁶ и пользуется терминами притяжение и отталкивание в том же, повидимому, смысле, как и ранее.⁷

485. В 1807 г. по этому вопросу производили опыты гг. Риффо (*Riffault*) и Шомпре (*Chompré*). Они пришли к заключению, что гальванический ток вызывает разложения на всем пути

¹ *Philosophical Transactions*, 1807, стр. 29, 30.

² Там же, стр. 39.

³ Там же, стр. 29.

⁴ Там же, стр. 42.

⁵ Там же, стр. 42.

⁶ Там же, 1826, стр. 383.

⁷ Там же, стр. 389, 407, 415.

своего следования через влажный проводник, и что эти разложения вовсе не являются простой подготовкой к тем воссоединениям, о которых говорили Гротгус и Дэви, но производят окончательное разделение элементов *на пути* тока, и не только у полюсов, но и в других местах. Они считают, что *отрицательный* ток собирает и несет кислоты и т. д. к *положительному* полюсу, а *положительный* ток выполняет ту же обязанность по отношению к основаниям и собирает их у *отрицательного* полюса. Они считают также, что токи тем *более сильны*, чем ближе они к соответственным им полюсам, и утверждают, что *положительный* ток по силе превосходит отрицательный. ¹

486. Г-н Био (Biot) очень осторожен в высказывании какого-либо мнения относительно причины разделения элементов сложного вещества. ² Однако в той мере, в какой эти явления доступны пониманию, он приписывает их противоположным электрическим состояниям разлагаемого вещества по соседству с двумя полюсами. Около положительного полюса жидкость является наиболее положительной; это состояние постепенно ослабевает к середине, где жидкость оказывается нейтральной или ненаэлектризованной, а, начиная отсюда и по направлению к отрицательному полюсу, она становится все более и более отрицательной. ³ Принимается, что при разложении частицы соли около отрицательного полюса частица кислоты приобретает от полюса отрицательное электрическое состояние, более сильное, чем у окружающих *неразложенных* частиц; поэтому она выталкивается из их среды и из этого объема жидкости по направлению к положительному полюсу, к которому ее влечет также притяжение самого полюса и частиц неразложенной положительной жидкости вокруг него. ⁴

487. Г-н Био, повидимому, не допускает существования последовательных разложений и воссоединений, о которых гово-

¹ Annales de Chimie, 1807, LXIII, стр. 83 и т. д.

² Précis Élémentaire de Physique, 3-е издание, 1824, I, стр. 641.

³ Там же, стр. 637.

⁴ Там же, стр. 641, 642.

рят Гротгус, Дэви и т. д. и т. д., но, очевидно, считает, что во время своего перехода вещество временно соединено, или, вернее, связано, с электричеством; ¹ хотя вещество и сообщает это электричество окружающей неразложенной материи, с которой соприкасается, оно, тем не менее, во время перехода сохраняет в этом отношении некоторый избыток, полученный вначале от полюса, и благодаря наличию этой разности переносится через жидкость к противоположному полюсу. ²

488. Эта теория предполагает, что разложение имеет место у обоих полюсов в определенных объемах жидкости и совершенно отсутствует в промежуточных участках. Последние служат лишь в качестве несовершенных проводников, которые, воспринимая электрическое состояние, понуждают частицы, более сильно наэлектризованные около полюсов, перемещаться через эти участки в противоположных направлениях в силу ряда обычных электрических притяжений и отталкиваний. ³

489. Г-н А. де ля Рив особо исследовал этот вопрос и в 1825 г. опубликовал статью на эту тему. ⁴ Он полагает, что те, кто приписывает эти явления притягательным свойствам полюсов, скорее формулируют основное явление, чем дают ему какое-либо объяснение. Он считает, что полученные результаты объясняются действительным соединением элементов, вернее половин их с электричествами, переходящими от полюсов, вследствие как бы некоторого сродства между материей и электричеством. ⁵ Ток от положительного полюса, соединяясь с водородом или с основаниями, которые он там находит, оставляет свободными кислород и кислоты, но переносит вещества, с которыми он соединился, к отрицательному полюсу, где вследствие специ-

¹ Précis Élémentaire de Physique, стр. 636.

² Там же, стр. 642.

³ Там же, стр. 638, 642.

⁴ Annales de Chimie, XXVIII, стр. 190.

⁵ Там же, XXVIII, стр. 200, 202.

фических свойств металла как проводника¹ ток отделяется от них, входя внутрь металла и оставляя водород или основания на его поверхности. Точно так же электричество отрицательного полюса оставляет свободными водород и основания, которые оно там находит, но соединяется с кислородом и кислотами, переносит их к положительному полюсу и там их отлагает.² В этом отношении гипотеза г. де ля Рива отчасти согласуется с гипотезой гг. Риффо и Шомпре (485).

490. Г-н де ля Рив считает, что разлагаются те части вещества, которые прилегают к *обоим* полюсам.³ Он не допускает, как это делают другие, существования последовательных разложений и воссоединений на протяжении всего пути следования электричества через влажный проводник,⁴ но полагает, что средние части остаются неизменными или, в крайнем случае, служат лишь для проведения двух противоположных токов электричества и материи, берущих начало у противоположных полюсов.⁵ Поэтому разложение частицы воды или частицы соли может иметь место около каждого из полюсов и, раз оно уже произошло, является на данное время окончательным, т. е. рекомбинаций не происходит, если не считать мгновенного соединения переносимой частицы с электричеством.

491. Последнее по времени известное мне сообщение на эту тему принадлежит г. Гашетту; оно датировано октябрем 1832 г. Оно заключает в себе описание разложения воды с помощью магнито-электрических токов (346). Один из результатов опыта заключается в том, что «вовсе нет необходимости, как это предполагалось, чтобы для химического разложения воды действие двух электричеств, положительного и отрицательного, было одновременным».

¹ *Annales de Chimie*, 1807, XXVIII, стр. 202.

² Там же, стр. 201.

³ Там же, стр. 197, 198.

⁴ Там же, стр. 192, 199.

⁵ Там же, стр. 200.

492. Более чем вероятно, что было опубликовано еще много других взглядов на электрохимическое разложение, и, может быть, среди них имеются такие, которые, отличаясь от вышеупомянутых, могли бы, если бы я был знаком с ними, устранить, даже с моей точки зрения, необходимость опубликования моих взглядов. Если это так, то я сожалею о моем неведении и приношу авторам извинение.

493. Прежде всего, электрохимическое разложение не зависит от непосредственного притяжения или отталкивания, оказываемых полюсами (понимая под ними металлические выводы установок с гальванической батареей или же с обыкновенной электрической машиной (312)) на элементы, соприкасающиеся с ними или находящиеся вблизи них; это с совершенной очевидностью явствует из опытов, произведенных в воздухе (462, 465 и т. д.). Образовавшиеся при этих опытах вещества собирались не вокруг каких-либо полюсов, но, повинаясь направлению тока, выделялись и, я сказал бы, выталкивались на концах разлагаемого вещества. Однако несмотря на крайнее несходство в свойствах воздуха и металлов и почти полное различие, существующее между ними в отношении того, как они проводят электричество и заряжаются им, все же, может быть, оказалось бы возможным предположить, хотя и совершенно гадательно, что пограничные участки воздуха являлись в этом случае поверхностями или местами притяжения, так же, как это ранее предполагалось в отношении металлов. Для выяснения этого и других положений я попытался создать установку, посредством которой я мог бы разложить тело у поверхности воды или воздуха или металла, и мне прекрасно и без исключений удавалось сделать это описанным ниже образом. Так как этот опыт по многим естественным причинам требует для своего успеха многих предосторожностей, и так как я буду ссылаться на него ниже для пояснения тех взглядов, которые я имею смелость предложить, то я должен описать его более подробно.

494. Поперек стеклянного сосуда (рис. 53), в четыре дюйма диаметром и в четыре дюйма высотой, была укреплена слюдяная перегородка *a*, спускавшаяся на полтора дюйма ниже края, по бокам совершенно водонепроницаемая. По одну сторону от перегородки *a* в сосуд была опущена платиновая пластинка *b* в три дюйма шириной; она поддерживалась в сосуде посредством находящегося внизу куска стекла так, чтобы газ, получавшийся при последующих опытах, не мог подняться за слюду и вызвать по ту сторону токи в жидкости. В сосуд осторожно, не плеская, наливался крепкий раствор сульфата магнезии до тех пор, пока уровень его не приходился немного выше нижнего края слюдяной перегородки *a*; при этом были приняты все меры предосторожности для того, чтобы стекло или слюда по ту сторону от перегородки, которая свободна от жидкости (на рисунке обозначена буквой *c*), не были смочены при сотрясениях раствора выше того уровня, до которого он доходил. Затем тонкий кусок чистой пробки хорошо смачивался дистиллированной водой; его осторожно и легко опускали на поверхность раствора со стороны *c*, а на пробку осторожно наливалась дистиллированная вода так, чтобы верх раствора сульфата магнезии образовался слой воды толщиной в одну восьмую дюйма. Затем все это представлялось самому себе на несколько минут, чтобы весь приставший к пробке раствор мог стечь или был удален водой, на которой теперь плавала пробка; после этого таким же путем добавлялось еще немного дистиллированной воды, так что она почти достигала края стекла. Таким образом раствор сульфата магнезии занимал нижнюю часть сосуда, а также верхнюю часть по правую сторону от слюды, по левую же сторону от перегородки поверх раствора, от *c* до *d* находился слой воды толщиной в полтора дюйма; если смотреть сквозь этот слой горизон-

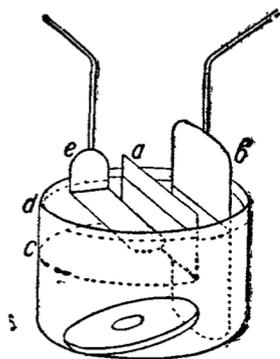


Рис. 53.

тально, то между двумя жидкостями можно было видеть довольно ясную поверхность раздела. Затем был устроен второй платиновый полюс *e*; он приходился как раз под поверхностью воды в почти горизонтальном положении; ему сообщался легкий наклон для того, чтобы дать выход газу, выделяющемуся во время разложения. Погруженная в воду часть имела три с половиной дюйма в длину и один дюйм в ширину, и между нею и раствором сульфата магния находился слой воды толщиной примерно в семь восьмых дюйма.

495. После этого полюс (*e*) был соединен с отрицательным концом гальванической батареи, состоявшей из сорока пар пластин, площадью по четыре квадратных дюйма; в то же время другой полюс был соединен с положительным концом. Наступало действие, и около обоих полюсов выделялся газ, но вследствие наличия промежуточной чистой воды разложение было очень слабо по сравнению с тем, которое батарея произвела бы в однородном растворе. По истечении небольшого промежутка времени (менее минуты) на отрицательной стороне появилась также магnezия; она появилась не около отрицательного металлического полюса, но в воде, у плоскости соприкосновения раствора и воды; при рассматривании в горизонтальном направлении можно было заметить, что она лежит в воде над раствором, выдаваясь не более чем на четверть дюйма над последним; в то же время вода между нею и отрицательным полюсом была совершенно прозрачна. При продолжении действия пузырьки водорода, восходящие кверху от отрицательного полюса, производили в слое воды круговое движение, направленное кверху — в середине и книзу — с боков, вследствие чего облако магnezии мало-помалу приобретало восходящую форму в месте, находящемся как раз под полюсом; создавалось впечатление, что оно как бы притягивается к нему; однако это явление было обусловлено исключительно действием потоков и наступало лишь много спустя уже после того, как рассматриваемые явления были достаточно хорошо установлены.

496. По истечении небольшого промежутка времени гальваническая батарея была отключена, а платиновые полюсы с целью исследования приставшей к ним жидкости были вынуты из воды и раствора с возможно меньшим сотрясением последних. Полюс *e* при касании к нему куркумовой бумажки не давал следов щелочи, и ничего, кроме чистой воды, на нем обнаружить не удавалось. Полюс *b*, хотя и проходил через значительную большую глубину и через большее количество жидкости, оказался настолько кислотным, что сильно действовал на лакмусовую бумажку, язык и другие реагенты. Здесь, следовательно, не было никакого побочного действия щелочных солей, которые должны бы были претерпеть сначала разложение и вызвать затем выделение магнезии вдали от полюса путем чисто химических действий. Опыт этот повторялся многократно и всегда с одинаковым успехом.

497. Таким образом в случаях электрохимического разложения выделяющиеся вещества могут появляться и на границе воздуха (465, 469), который, согласно общепринятой терминологии, не является проводником и не разлагается, и на границе воды (495), которая является проводником и может быть разложена, и на границе металлических полюсов, которые являются прекрасными проводниками, но не разлагаются; при таких обстоятельствах, повидимому, имеется мало оснований думать, что эти явления вообще обусловлены *притяжением* или притягательными силами металлических полюсов, если ими пользоваться, как обычно, так как едва ли можно представить себе существование таких притяжений в первых двух случаях.

498. Можно было бы сказать, что в этих случаях поверхности воздуха или же воды становятся полюсами и обнаруживают притягательные силы; но какие имеются тому доказательства, за исключением того факта, что выделившиеся вещества собираются около полюсов, — факта, который именно и подлежит выяснению, и на который нельзя, конечно, ссылаться для его же собственного истолкования? Конечно, можно было бы сказать, что любое сечение влажного проводника, как, на-

пример, в данном случае то сечение, где сходятся раствор и вода, можно рассматривать как полюсы. Однако, представляется мне, совершенно иного мнения придерживались те, кто писал на эту тему, по крайней мере некоторые из них, и этот взгляд несовместим с теми законами, которым, по их предположению, подчиняется уменьшение силы с возрастанием расстояний от полюсов.

499. Гротгус, например, описывает полюсы как центры сил притяжения и отталкивания (481), изменяющихся обратно пропорционально квадрату расстояний, и считает поэтому, что частица, помещенная где-нибудь между полюсами, подвержена действию постоянной силы. Но возникающая в результате принимаемой им комбинации сложная сила ни в коей мере не будет постоянна; она, очевидно, будет иметь наибольшие значения около полюсов и будет уменьшаться к середине расстояния между ними. Тем не менее, согласно моим опытам (502, 505), Гротгус оказывается прав в отношении того факта, что частицы в любой части цепи подвержены действию одинаковой силы, когда условия опыта по возможности просты; но этот факт противоречит его теории, а также, я полагаю, всякой теории, объясняющей разлагающее действие притягивательной силой полюсов.

500. Сэр Гемфри Дэви, который также говорит об *уменьшении* силы с возрастанием расстояния от полюсов (483),¹ полагает, что когда разложение вещества вызывают оба полюса, сила разложения все же *уменьшается* к середине расстояния. Утверждая это, он впадает в противоречие с Гротгусом и ссылается на опыт, в котором сульфат кали помещался на различных расстояниях от полюсов во влажном проводнике постоянной длины; при этом он разлагался вблизи полюсов и не разлагался вдали от них. Теоретически такое следствие неизбежно, если считать полюсы за центры притяжения и отталкивания; но я не нашел, чтобы это объяснение подтверждалось другими

¹ Philosophical Transactions, 1807, стр. 42.

опытами (505), а в опыте, на который ссылается Дэви, явление, несомненно, объясняется одним из многочисленных источников ошибок, которые стоят на пути таких исследований.

501. Поперек стеклянного сосуда была укреплена отвесно платиновая пластинка так, что делила его на две ячейки; сверху был укреплен колпачок из слюды, чтобы собирать газ, который мог выделяться во время опыта; затем обе ячейки и пространство под слюдой были заполнены разбавленной серной кислотой. Было взято два полюса, состоявшие каждый из платиновой проволоки, оканчивающейся пластинкой из того же металла; каждый полюс был укреплен внутри трубки; он проходил через ее верхний конец при посредстве воздухонепроницаемого соединения и оставался при этом подвижным; тем не менее, около него можно было собирать выделяющийся газ. Трубки были наполнены кислотой, и в каждую ячейку было погружено по одной трубке. Поверхность каждого платинового полюса была равна поверхности одной стороны пластины, делящей сосуд посередине, а всю систему можно рассматривать, как расположенный между полюсами батареи влажный, способный к разложению проводник, разделенный посередине устроенной там платиновой перегородкой. Если то требовалось, легко было поднять выше один из полюсов в трубке, и тогда платиновая перегородка оказывалась уже не в середине жидкого проводника. Но независимо от того, где была расположена перегородка: посередине или ближе к одной из сторон, количество выделившегося кислорода и водорода всегда было равно количеству газов, выделившихся у крайних пластин.¹

502. Приделаем к концам проводов гальванометра пластины, а последние погрузим в разбавленную кислоту, содержащуюся в стеклянном сосуде правильной прямоугольной формы; соединим сосуд на каждом конце с гальванической батареей посред-

¹ В этом и подобных опытах требуются некоторые предосторожности, которые можно учесть и принять только при ближайшем знакомстве с теми явлениями, которые будут описаны в первой части шестой серии настоящих исследований.

ством полюсов, сечение которых равно сечению жидкости; тогда часть электричества будет проходить через прибор и вызывать определенное отклонение. И если пластины всегда сохраняют одно и то же расстояние как *друг от друга*, так и от стенок сосуда, если они всегда параллельны друг другу и одинаково расположены по отношению к жидкости, то, независимо от того, где они погружены в разлагаемый раствор: близко к его середине, или у одного из концов его, — прибор все же будет давать одно и то же отклонение и, следовательно, указывать, что электрическое действие также одинаково.

503. Вполне ясно, что когда ширина разлагаемого проводника меняется, как это всегда имеет место, если полюсами служат просто погруженные в раствор или окруженные им провода или пластины, то нельзя дать постоянного выражения для действия, оказываемого на отдельную помещенную на пути тока частицу, равно как и нельзя вывести какое-либо полезное для дела заключение относительно предполагаемых притягательных и отталкивательных сил полюсов. Сила будет меняться по мере изменения расстояния от полюсов, в зависимости от того, где находится частица: непосредственно между полюсами или же она смещена более или менее в одну сторону, ближе или дальше от стенок сосуда; результат зависит также от изменения формы самого сосуда. И действительно, меняя форму системы, можно действующую на отдельную частицу силу увеличить, уменьшить или сохранить постоянной, и в то же время расстояние между частицей и полюсом останется прежним; можно сделать и так, что сила может увеличиться, уменьшиться или останется постоянной в то время, как расстояние увеличится или уменьшится.

504. На основании многочисленных опытов я пришел к заключению, что является правильным приводимое ниже общее положение; однако же я намерен рассмотреть его гораздо подробнее и поэтому не желал бы в данный момент принимать на себя ответственность за его достоверность. *Сумма химического разложения постоянна* для каждого поперечного сечения разлагаемого проводника, однородного по своей природе, незави-

симо от того, на каком расстоянии друг от друга и от этого сечения находятся полюсы; эта сумма не зависит также от того, каким образом это сечение пересекает токи: прямо поперек их или же настолько косо, что оно простирается почти от одного полюса до другого; от той формы, какую имеет сечение: плоскую, кривую или вообще совершенно неправильную; необходимо только, чтобы ток электричества поддерживался постоянным в отношении количества (377), и чтобы это сечение проходило сквозь разлагаемый проводник через весь ток.

505. У меня есть основания думать, что это положение может быть высказано в еще более общем виде и выражено следующим образом: *что бы собой ни представляло разлагаемое вещество: воду, растворы солей, кислоты, расплавленные тела и т. д., — для одного и того же количества электричества сумма электрохимических действий есть также величина постоянная, т. е. она всегда эквивалентна стандартному химическому действию, основанному на обычном химическом сродстве.* В данное время я занят этим и еще несколькими исследованиями, которые буду в состоянии представить в следующей серии настоящих же исследований.

506. Можно было бы привести множество других аргументов против гипотезы, которая причину электрохимического разложения усматривает в притяжении полюсов, но я предпочитаю перейти к той точке зрения, которую я считаю более согласной с фактами, и сделаю лишь одно замечание. Если бы разложение при помощи гальванической батареи зависело от притяжения полюсов или окружающих эти последние частей [вещества], и притом было сильнее взаимного притяжения разделенных частей, то отсюда бы следовало, что самое слабое *электрическое* притяжение сильнее весьма сильного, если и не самого сильного *химического* притяжения, — такого, например, какое существует между кислородом и водородом, калием и кислородом, хлором и натрием, кислотой и щелочью и т. д. Такое заключение, может быть, вполне возможно, но при настоящем состоянии вопроса представляется весьма неправдоподобным.

507. Принятая г. де ля Ривом (489), а также гг. Риффо и Шомпре (485) точка зрения относительно способа, которым осуществляется электрохимическое разложение, сильно отличается от описанного выше взгляда, и выставленные против этого последнего аргументы или факты ее не затрагивают. В том виде, как ее изложил первый исследователь, эта точка зрения, как мне кажется, не в состоянии объяснить описанные мною опыты разложения у поверхностей воздуха (462, 469) и воды (495). В самом деле, если на момент допустить существование тех физических различий между металлами и жидкими проводниками, которыми, по мнению г. де ля Рива, объясняется передача соединения материи с электричеством в этих последних и передача одного лишь электричества без материи в первых, то все же аналогия между воздухом и металлом в электрическом отношении настолько мала, что вместо замещения последнего первым (462) можно было бы ожидать скорее обратного действия. И если даже допустить это, то опыт с водой (495) сразу решает вопрос, так как разлагающий полюс представляет собой теперь вещество, за которым признается способность передавать предполагаемое соединение материи и электричества.

508. Что касается взглядов гг. Риффо и Шомпре (485), то существование процесса разложения только *на пути* тока настолько противоречит общеизвестным действиям, полученным из всевозможных опытов, какие производились до настоящего времени, что прежде, чем рассматривать вытекающую отсюда гипотезу, должен быть еще доказан самый этот факт.

509. Рассмотрение существующих разнообразных теорий электрохимического разложения вызвало во мне недоверие к ним и внушило смелость прибавить к их числу еще одну. Я только потому и осмеливаюсь на этот шаг, что теория, которую я собираюсь предложить, при самом тщательном ее рассмотрении, повидимому, оказывается согласной с огромным запасом относящихся к этой отрасли знания фактов, способна дать им объяснение, ни одному из них не противоречит и ни одним из них не опровергается.

510. Как известно, электрохимическое разложение существенно зависит от *тока* электричества. Я показал, что в некоторых случаях (375) разложение пропорционально количеству проходящего электричества, каковы бы ни были его напряжение и его источник, и что это, вероятно, справедливо во всех случаях (377), даже если требовать максимальной общности, с одной стороны, и большой точности выражений — с другой (505).

511. Говоря о токе, я считаю себя обязанным быть еще более точным, чем в одном из прежних случаев (283), ввиду разнообразия взглядов, принятых различными учеными, которые, однако же, все согласны в отношении явления самого тока. Некоторые исследователи вместе с Франклином принимают существование только одной электрической жидкости; все они должны сходиться во мнении относительно общей однородности и характера тока электричества. Другие принимают существование двух электрических жидкостей, и здесь возникли особые разногласия.

512. Гг. Риффо и Шомпре, например, считают, что разложение вызывается как положительным, так и отрицательным токами, и утверждают, что положительный ток *сильнее*, чем отрицательный; ¹ так что, например, при прочих равных условиях нитрат натра разлагается первым из них, но не разлагается вторым.

513. Г-н Гашетт утверждает, ² что «для разложения воды нет необходимости в том, чтобы действия положительного и отрицательного электричеств были, как это предполагалось, одновременны». Эти слова, если я правильно усвоил их смысл, означают, что каждое из электричеств может быть получено и применено для осуществления разложения, независимо от другого.

514. Взгляд г. де ля Рива в некоторой степени совпадает с взглядом г. Гашетта, так как он считает, что два электричества разлагают отдельные части воды (490). ³ В одном месте он говорит

¹ Annales de Chimie, 1807, LXIII, стр. 84.

² Там же, 1832, LI, стр. 73.

³ Там же, 1825, XXVIII, стр. 197, 201.

об этих двух электричествах как о двух влияниях, не желая, может быть, высказать определенного мнения относительно независимого существования электрических жидкостей. Поскольку, однако, он высказывает мнение, что эти влияния благодаря некоторого рода химическому сродству связываются с выделившимися в свободном состоянии элементами и на это время полностью маскируют свои свойства, то в это представление вносится большая неопределенность, так как подобного рода соединение можно вообразить только между предметами, имеющими независимое существование. Два элементарных электрических тока, которые движутся в противоположных направлениях от полюса к полюсу, составляют обычный *гальванический ток*.

515. Г. Гротгус склонен думать, что элементы воды, перед тем как разделиться около полюсов, соединяются с электричествами и таким образом переходят в газообразное состояние. Точка зрения г. де ля Рива как раз обратна этой; по его представлениям, элементы воды при прохождении через жидкость находятся в соединении с электричествами; выделившись у полюсов, они утрачивают заряд.

516. Среди разнообразных опытов, которые приводятся в подтверждение этих взглядов или тех, которые вообще имеют отношение к электрохимическим разложениям или электрическим токам, я искал каких-либо таких, которые бы говорили скорее в пользу теории двух, а не одного электричества; однако мне не удалось найти ни одного факта, который можно было бы выдвинуть для этой цели; равным образом, если принять гипотезу о двух электричествах, опыты давали еще меньше оснований утверждать, что одно электричество в электрическом токе может быть сильнее другого, или что оно может существовать без другого, или что это одно электричество можно изменить или хоть в малой степени на него подействовать, не изменяя соответственно и другого. ¹ Если бы, предполагая существование двух электричеств, можно было получить ток одного электричества без дру-

¹ В настоящее время по этому вопросу см. pp. 1627—1645. Дек. 1838 г.

гого или же усилить или ослабить ток одного по сравнению с другим, то можно было бы, несомненно, ожидать некоторых изменений либо химических, либо магнитных действий, либо и тех и других; однако никаких подобных изменений не наблюдалось. Если ток идет по такому пути, что может действовать химически на одном его участке и проявлять магнитные действия на другом, то оказывается, что оба эти действия всегда происходят одновременно. Насколько мне известно, еще не удавалось получить такой ток, который бы мог действовать химически, не действуя магнитно, или такой, который бы мог действовать на магниты и не действовал бы в *то же самое время* химически.¹

517. Если судить только на основании фактов, то до сих пор нет ни малейшего основания рассматривать силу, имеющуюся налицо в том явлении, которое мы называем электрическим током, — все равно в металлах, в расплавленных телах или в жидких проводниках, или даже в воздухе, пламени, разреженных упругих средах, — как составную или сложную силу. Ее никогда не удавалось разложить на более простые элементарные силы, и лучше всего ее можно, пожалуй, представить себе в виде *оси сил, в которой силы, в точности равные по величине, направлены в противоположные стороны.*

518. Переходим к рассмотрению электрического разложения; мне представляется, что это явление производится *внутренним корпускулярным действием*, происходящим в соответствии с направлением электрического тока, и что оно обусловлено силой, которая либо *прибавляется к обычному химическому средству* данных веществ, либо *его направляет*. Подвергаемое разложению вещество можно рассматривать как совокупность действующих частиц, причем все те из них, которые расположены на пути тока, вносят свою долю в конечный эффект; обычное химическое средство под влиянием электрического тока делается менее выраженным, ослабляется или частично нейтрализуется в одном

¹ Термо-электрические токи, конечно, не являются исключениями, так как, когда они перестают химически действовать, они перестают быть и токами вообще.

направлении, параллельном току, и усиливается или пополняется в противоположном направлении, и именно потому входящие в соединение частицы имеют стремление перемещаться в противоположных направлениях.

519. С этой точки зрения нужно думать, что явление *существенно зависит от взаимного химического сродства* частиц противоположного рода. Частицы a , a (рис. 54) не могли бы переноситься или двигаться от одного полюса N по направлению к другому P , если бы они не нашли частиц противоположного рода — b , готовых перемещаться в противоположном направлении; в самом деле, они понуждаются к движению вперед именно в силу увеличения сродства по отношению к этим частицам, а также уменьшения сродства по отношению к тем частицам, которые оставлены



Рис. 54.

Рис. 55.

ими позади; и когда какая-либо частица a (рис. 55) достигает полюса, то она исключается или обретает свободу, потому что противоположная частица b , с которой она только что находилась в соединении, испытывает под добавочным влиянием тока более сильное притяжение к частице a' , лежащей на ее пути впереди, чем к частице a , по отношению к которой ее сродство стало слабее.

520. В отношении отдельной сложной частицы случай этот можно считать аналогичным случаю обычного разложения; действительно, можно считать, что частица a на рис. 54 выталкивается из сложной частицы ab благодаря имеющему перевес притяжению между a' и b , а перевес этот определяется положением a' , b и a относительно оси электрической силы (517), усиливаемой током. Однако, поскольку все сложные частицы на пути следования тока, за исключением тех, которые действительно соприкасаются с полюсами, действуют совместно и состоят из

элементарных частиц, которые в одном направлении выталкиваются, а в другом сами выталкиваются, то случай усложняется, хотя и не становится более трудным для понимания.

521. Не нужно думать, чтобы действующие частицы были расположены по прямой линии между полюсами. Линии действия, при помощи которых можно изображать электрические токи, проходящие через разлагаемую жидкость, во многих опытах имеют очень неправильную форму, и даже в простейшем случае двух проводов или острий, погруженных в качестве полюсов в каплю или более значительную отдельную порцию жидкости, эти линии должны быстро расходиться от полюсов, а направление, в котором химическое сродство между частицами наиболее сильно меняется (519, 520), будет меняться вместе с направлением этих линий, постоянно с ними совпадая. Однако, даже в отношении этих линий или токов вовсе не нужно думать, чтобы взаимно влияющие друг на друга частицы должны были непременно быть им параллельны; нужно только предположить, что они в общем должны согласоваться с их направлением. Не следует думать, что между двумя частицами, расположенными на линии, перпендикулярной электрическому току, который проходит в данном месте, должна меняться их обычная взаимная химическая связь; но, если соединяющая их прямая наклонена к току в определенную сторону, то их взаимное сродство возрастает, а при наклонении ее в другом направлении оно уменьшается; максимальный же эффект получается тогда, когда эта линия параллельна току.¹

522. Что, независимо от их природы, эти действия часто происходят в косвенных направлениях, явствует из того факта, что они распространяются также на такие частицы, которые часто даже и не лежат на прямой, соединяющей полюсы. Так, если в качестве полюсов в стеклянном сосуде, содержащем раствор, взять проволочки, разложения и воссоединения возникают вправо или влево от направления прямой, соединяющей полюсы, и,

¹ По этому вопросу см. ниже об электролитическом разряде, серия двенадцатая, глава VIII, pp. 1343—1351 и т. д. Дек. 1838 г.

как это подтверждают многочисленные опыты, собственно возникают повсюду, куда только достигают токи; они, следовательно, должны часто иметь место между частицами, которые расположены по отношению к самому току в сторону; а если один полюс образован содержащим раствор металлическим сосудом, а в качестве другого взяты острие или проволока, то разложения и обратные соединения часто должны быть расположены по отношению к путям токов еще более вкось.

523. Теория, которую я имел смелость предложить, (почти) требует допущения, что между элементарными частицами способного претерпевать электрохимическое разложение сложного вещества существуют взаимоотношения и влияния, выходящие за пределы тех частиц, с которыми они находятся в непосредственном соединении. Так, нужно думать, что, в случае воды, соединенная с кислородом частица водорода не совсем безразлична к остальным частицам кислорода, хотя последние и находятся в соединении с другими частицами водорода; что она обладает по отношению к ним сродством или притяжением, хотя при обычных условиях, не достигающим по своей силе того сродства, которым она соединена со своей собственной частицей, но могущим даже превзойти его под действием электрического влияния, оказываемого в определенном направлении. Это общее взаимодействие между частицами, уже соединенными с другими частицами, и такими, с которыми они не находятся в соединении, выступают достаточно отчетливо в многочисленных явлениях чисто химического характера, особенно там, где имеет место лишь частичное разложение, а также в опытах Бертолле по влиянию массы на сродство; по всей вероятности, оно имеет прямое отношение и связь с притяжением сцепления как в твердых, так и жидких телах. Замечательно, что в газах и парах, где сцепление исчезает, повидимому, исчезают также разлагающие свойства электричества и перестает проявляться химическое действие массы. Возможно, что неспособность к разложению в этих случаях обусловлена отсутствием того взаимного притяжения частиц, которое является причиной сцепления.

524. Я надеюсь, что я достаточно ясно, хотя и в весьма общих выражениях, изложил свой взгляд на причину электрохимического разложения *в той мере, в какой в настоящее время* можно эту причину проследить и понять. Я представляю себе, что эти явления возникают благодаря силам, которые по отношению к разлагаемому веществу являются *внутренними*, а не *внешними*, какими их можно было бы считать, если бы они зависели непосредственно от полюсов. Я полагаю, что эти явления происходят вследствие того, что электрический ток вызывает изменения химического сродства частиц, через которые или при посредстве которых он проходит, и сообщает им способность действовать в одном направлении сильнее, чем в другом; в результате ток заставляет их двигаться в противоположных направлениях, испытывая при этом ряд последовательных разложений и новых соединений, и, наконец, вызывает их выталкивание или выделение у пограничных поверхностей разлагаемого тела, и притом в больших или меньших количествах, в соответствии с тем, насколько сильнее или слабее этот ток (377). Поэтому я полагаю, что было бы более научно и ближе к фактам говорить, в связи с проходящим через тело током, именно об его веществе, а не о так называемых полюсах, которые с ним соприкасаются, и просто констатировать, что в процессе разложения на его отрицательном конце выделяются кислород, хлор, иод, кислоты и т. д., а на положительном конце — вещества горючие, металлы, щелочи, основания и т. д. (467). Я не думаю, чтобы электрический ток мог переносить вещество в такое место, где оно больше не находит частиц, с которыми может соединиться. В качестве фактов, иллюстрирующих эти взгляды, я прежде всего могу привести уже упомянутые опыты, произведенные в воздухе (465) и в воде (495); сейчас я к ним добавлю еще и другие.

525. Чтобы показать зависимость разложения и переноса элементов от химического сродства присутствующих веществ, были произведены следующие опыты с серной кислотой. Была приготовлена разбавленная серная кислота; ее удельный вес был равен 1021.2. Далее был приготовлен раствор сульфата

натра такой крепости, что единица объема его содержала ровно столько же серной кислоты, сколько имелось в таком же объеме только что упомянутой разбавленной кислоты. Подобным же образом были приготовлены растворы: один — чистого натра и другой — чистого аммиака такой крепости, что определенный объем каждого из них в точности нейтрализовался равным ему объемом приготовленной серной кислоты.

526. Четыре стеклянных чашечки были затем расположены, как указано на рис. 56; в каждый из сосудов *a* и *b* было налито по семнадцать объемов свободной серной кислоты (525), а в каждый из сосудов *a* и *b* — по семнадцать объемов раствора сульфата натра. Для соединения *a* с *b* и *A* с *B* был взят асбест, пред-

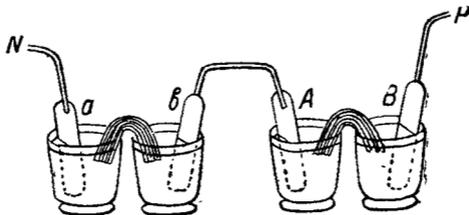


Рис. 56.

варительно хорошо промытый кислотой, подвергнутый действию гальванического элемента, хорошо промытый водой и высушенный под давлением; брались куски асбеста по возможности равные по весу; они обрезались настолько коротко, насколько это было допустимо, чтобы они все же давали хорошее соединение. *b* и *A* были соединены посредством двух платиновых пластинок или полюсов, припаянных к концам одного провода, а чашечки *a* и *B* посредством таких же платиновых пластинок были соединены с гальванической батареей, состоявшей из сорока пар пластин, площадью по четыре квадратных дюйма, причем пластинка в чашечке *a* была соединена с отрицательным, а пластинка в *B* — с положительным полюсом. Соединение с не очень сильно заряженной батареей поддерживалось свыше получаса. Таким образом можно было быть уверенным, что через чашечки *ab*

и *AB* прошел один и тот же электрический ток, и что и в том и другом случае действию его подвергалось одно и то же количество кислоты одинаковой крепости, с той разницей, что в одном случае она была просто растворена в воде, а в другом — находилась в растворе, и к тому же была в соединении со щелочью.

527. Когда батарея была отключена, куски асбеста были подняты и свешивавшиеся по концам капли стряхнуты в соответствующий сосуд. Затем прежде всего было произведено сравнение между кислотой в чашечках *a* и *b*, для чего были уравновешены две выпарительные чашки, и в одну из них была налита кислота из *a*, а в другую — из *b*; поскольку, однако, одна была немного тяжелее другой, то из более тяжелой в более легкую была перенесена небольшая капля, и, таким образом, обе порции были уравнены по весу. Затем кислота из *a*, т. е. отрицательного сосуда, была нейтрализована добавлением раствора натра (525), для чего потребовалось 15 частей этого последнего, а для нейтрализации кислоты из *b*, т. е. положительного сосуда, потребовалось 16,3 части. Что сумма их не равна 34, обусловлено главным образом тем, что часть кислоты ушла с асбестом; но, если взять среднее 15,65 частей, то выйдет, что одна двадцать четвертая часть кислоты, находившейся первоначально в сосуде *a*, под влиянием электрического тока перешла из *a* в *b*.

528. При сравнении различия кислотности в *A* и *B* необходимое равенство в весе считалось несущественным, потому что раствор вначале был нейтрален и поэтому не должен был действовать на реактивы; вся выделившаяся кислота должна была оказаться в *B*, а свободная щелочь — в *A*. Раствор в чашечке *A* потребовал для своей нейтрализации 3,2 объема приготовленной кислоты (525), а раствор в *B* для своей нейтрализации потребовал также 3,2 объема раствора натра (525). Так как асбест должен был впитать в себя немного кислоты и щелочи из этих сосудов, то эти количества являются на столько же преуменьшенными; казалось бы поэтому, что приблизительно одна десятая часть кислоты, находившейся первоначально в сосуде *A*, была за время электрического действия перенесена в *B*.

529. В другом подобном же опыте, когда в сосуде со свободной кислотой из *a* в *b* переходила одна тридцать пятая часть кислоты, в сосудах со связанной кислотой из *A* в *B* переходило от десятой до одиннадцатой части кислоты. Другие опыты такого же рода дали подобные же результаты.

530. Изменение электрического разложения, перенос элементов и накопление их у полюсов в соответствии с тем, из каких частиц состоит подвергаемое действию вещество: из более или из менее противоположных по своему химическому средству, а равно вытекающее отсюда влияние последних обстоятельств, являются достаточно очевидными в тех случаях, где одно и то же количество серной кислоты подвергается действию одного и того же электрического тока, но где в одном случае ему противодействует сравнительно слабое по отношению к ней средство воды, а в другом — более сильное средство натра. Количество перенесенной в последнем случае кислоты оказывается в два с половиной — в три раза больше, чем в первом; отсюда ясно что этот перенос сильно зависит от взаимодействия частиц разлагаемых тел.¹

531. В некоторых опытах кислота из сосудов *a* и *b* нейтрализовалась аммиаком, затем выпаривалась досуха, нагревалась до красного каления, и остаток исследовался на сульфаты. В этих случаях из *a* получалось всегда большее количество сульфата, чем из *b*, что указывает на невозможность избежать солеобразующих оснований (появляющихся из асбеста, стекла или же, может быть, из загрязнений исходной кислоты) и на то, что они способствовали переносу кислоты в *b*. Но это [избыточное] количество было незначительно, и кислота переносилась преимущественно благодаря средству к присутствующей воде.

532. Я пытался поставить некоторые опыты по разложению растворов солей на границе с водой; сначала я действовал электрической машиной на смоченный в растворе кусок фильтровальной бумаги или же асбеста, соприкасавшийся на своих

¹ См. примечание к п. 675. Дек. 1838 г.

концах с заостренными кусками бумаги, смоченными чистой водой; последние служили для того, чтобы подводить и отводить электрический ток от раствора в среднем куске. Однако я натолкнулся на многочисленные трудности. Так, нельзя было предотвратить смешивания воды и растворов в кусках бумаги в тех точках, где они соприкасались. Далее из соединенной с разрядным проводом бумаги, даже из самого воздуха, под влиянием электрического действия могла выделяться кислота в количестве, достаточном для нейтрализации щелочи, образовавшейся у положительного конца разлагаемого раствора, и это могло не только препятствовать появлению щелочи, но и переносить ее к металлическому концу. И, действительно, в некоторых опытах заостренные концы бумаги в этом месте не соприкасались, а машина работала до тех пор, пока на отдающем или положительном конце куркумовой бумажки, содержащей раствор сульфата натра, не образовалась щелочь; тогда достаточно было положить противоположный приемный конец бумаги, соединенной с разрядным проводом, предварительно смоченной дистиллированной водой, на бурый куркумовый конец и прижать их друг к другу, чтобы щелочное действие немедленно исчезло.

533. Описанный ранее опыт с сульфатом магнезии (495) представляет собой как раз нужный пример и весьма ясно доказывает, что серная кислота и магнезия взаимно способствовали переносу и окончательному выделению, точь-в-точь как эта же кислота и натр влияли друг на друга в только что приведенных опытах (527 и т. д.); как только магнезия попадала за пределы достижения кислоты и не встречала другого вещества, с которым бы могла соединяться, она появлялась в своем собственном виде и не могла продолжать свое продвижение к отрицательному полюсу.

534. Мне представляется, что теория, которую я имел смелость предложить, удовлетворительно объясняет все существенные особенности электрохимического разложения.

535. Прежде всего она объясняет, почему во всех обычных случаях выделившиеся вещества *появляются только около по-*

люсов; в самом деле, полюсы являются пограничными поверхностями разлагаемого вещества, и повсюду, за исключением этих поверхностей, каждая частица может найти другие частицы, обладающие противоположным стремлением, с которыми она может вступить в соединение.

536. Затем она объясняет, почему во многих случаях элементы или выделившиеся вещества *не удерживаются* полюсами; а это представляет немалую трудность для тех теорий, которые разлагающее действие приписывают непосредственно притягательной силе полюсов. Если предположить, согласно обычной теории, что кусок платины обладает достаточной притягательной силой для того, чтобы вырвать частицу водорода от той частицы кислорода, с которой она только что была соединена, то нет, повидимому, достаточных оснований, а равно никаких фактов, за исключением нуждающихся еще в объяснениях, которые бы показали, почему бы платина, по аналогии со всеми обычными силами притяжения, как сила тяготения, магнетизм, сцепление, химическое сродство и т. д., не могла *удержать* ту частицу, которую она только что перед этим притянула на расстоянии и вырвала из ранее существовавшего соединения. Однако платина этого не делает, а предоставляет частице водорода свободно удаляться. Это не вызывается также тем, что водород перешел в газообразное состояние, так как кислоты и щелочи и т. д., которым в равной мере предоставлена возможность проникать через окружающую полюсы жидкость, не выказывают особого стремления соединиться с последними или прилипнуть к ним. И хотя известно много случаев, в которых соединение с полюсами имеет место, но они вовсе не объясняют тех явлений, в которых соединения не происходит, и этот частный случай не вскрывает сущности основного принципа разложения.

537. По теории же, только что данной мною, указанное явление представляется естественным следствием действия: выделяющиеся вещества *выталкиваются* из разлагаемой массы (518, 519), а не *извлекаются из нее притяжением*, которое якобы без

видимых к тому оснований перестает действовать на определенную частицу и в то же время продолжает действовать на другие частицы того же рода; и, независимо от того, из чего состоит полюсы: из металла, воды или воздуха, вещество тем не менее выделяется и иногда остается свободным, в других же случаях, наоборот, вступает в соединение с веществом полюсов, в соответствии с химической природой последних, т. е. с их химическим сродством по отношению к тем частицам, которые выделяются из разлагаемого вещества.

538. Предлагаемая теория дает полное представление о переносе элементов; это представление, как мне кажется, всему дает свое объяснение; и в самом деле, к ней меня привели как раз явления переноса в многочисленных случаях разложения тел, приведенных нагреванием в жидкое состояние (380, 402), а также опыты, произведенные в воздухе. Случаи, подобные первым, где действию подвергаются легко разлагаемые двойные соединения, пожалуй, лучше всего иллюстрируют эту теорию.

539. Так, например, расплавленный в изогнутой трубке (400) и разлагаемый с помощью платиновых проволок хлорид свинца выделяет свинец, проходящий к так называемому отрицательному полюсу, и хлор, который, выделяясь около положительного полюса, частью освобождается, а частью соединяется с платиной. Образующийся хлорид платины, который растворим в хлориде свинца, подвержен разложению, постепенно через разлагаемое вещество переносится и сама платина, обнаруживаясь вместе со свинцом у отрицательного полюса.

540. Иодид свинца в избытке выделяет свинец у отрицательного полюса, и иод — у положительного.

541. Прекрасный пример представляет собой хлорид серебра, особенно когда он разлагается с помощью серебряных проволочных полюсов. Если расплавить некоторое количество хлорида серебра на куске стекла и соединить его с полюсами, у отрицательного полюса в избытке выделяется серебро; в таком же избытке оно поглощается у положительного полюса, ибо хлор не выделяется в свободном виде; при некоторой осторожности,

отрицательную проволоку удастся извлекать из расплавленного шарика по мере того, как на ней отлагается серебро; последнее служит продолжением полюса, пока не образуется проволока или нить из выделившегося серебра, длиною в пять или шесть дюймов; в то же время у положительного полюса серебро быстро растворяется выседающим на нем хлором, так что провод приходится непрерывно пододвигать по мере того, как он растворяется. Опыт этот, в котором участвует всего лишь два элемента — серебро и хлор, — прекрасно иллюстрирует перемещение этих элементов в противоположных направлениях, параллельно электрическому току, который в это время сообщает их сродствам однородное и общее направление (524).

542. Согласно моей теории, элемент или неразложимое в условиях данного опыта вещество (как, например, разбавленная кислота или щелочь) не переносилось бы и не переходило бы от полюса к полюсу, если бы оно не обладало родством к другому элементу или веществу, стремящемуся проходить в противоположном направлении, ибо получаемый эффект, по этой теории, по существу зависит от взаимного сродства между такими частицами. Теории же, в которых судьба элементов определяется притяжениями и отталкиваниями полюсов, не требуют такого условия; другими словами, нет никаких оснований к тому, чтобы притяжение положительного полюса и отталкивание отрицательного, действующие на находящуюся между ними в воде частицу свободной кислоты, не было (при равных токах электричества) столь же сильно, как и в том случае, когда эта частица предварительно находится в соединении со щелочью; наоборот, поскольку, в первом случае, полюсам не приходится преодолевать сильного химического сродства, существуют все основания полагать, что они окажутся сильнее и быстрее приведут кислоту к положительному полюсу.¹ Однако дело обстоит не так, как это и было показано опытами со свободной и связанной кислотами (626, 528).

¹ Даже сэр Гемфри Дэви считал, что притяжение полюса передается от одной частицы к другой частице *такого же рода* (483).

543. Теория г. де ля Рива, насколько я ее понимаю, такою *не требует*, чтобы частицы находились в соединении; она даже не допускает, что когда имеются двоякого рода частицы, способные соединяться между собой и проходящие одни мимо других, то эти частицы соединяются, а предполагает, что они перемещаются как отдельные соединения материи и электричества. В действительности, однако же, свободное вещество перемещаться *не может*, а находящееся в соединении — *может*.

544. Среди растворов или жидкостей очень трудно отыскать примеры, которые бы могли пояснить это положение, потому что трудно найти такие две жидкости, чтобы они были проводящими, чтобы не смешивались друг с другом, и чтобы выделившийся из одной жидкости элемент не находил в другой элемента, с которым он мог бы соединиться. *Растворы* кислот или щелочей не удовлетворяют этому условию, потому что их существование обусловлено некоторым притяжением, и если увеличивать растворимость тела в одном направлении и уменьшать ее в другом, это будет столь же веской причиной для переноса, как если бы мы изменили химическое сродство между самими кислотами и щелочами.¹ Тем не менее, случай сульфата магнезии сюда как раз подходит (494, 495) и доказывает, что отдельно взятые ни один *элемент или составная часть сложного вещества* не обладают способностью к переносу или переходу по направлению к одному из полюсов.

545. Однако многие из металлов, находясь в твердом состоянии, представляют собой очень хорошие примеры требуемого типа. Так, если в качестве положительного полюса взять платиновую пластину в растворе серной кислоты, то кислород будет перемещаться по направлению к ней, а равным образом и кислота; однако эти вещества не обладают таким химическим сродством к платине, чтобы могли соединиться с ней даже при тех благоприятных условиях, которые приносятся током (518, 524); поэтому платина остается там, где находилась первоначально,

¹ См. примечание к п. 675. Дек. 1838 г.

и не тяготеет к отрицательному полюсу. Если же платину заменить пластинкой из железа, цинка или меди, то кислород и кислота могут соединиться с ними, и металл начинает немедленно перемещаться (в виде окиси) к противоположному полюсу и, в конце концов, на нем отлагается. Далее, если, сохранив платиновый полюс, заменить серную кислоту расплавленным хлоридом свинца, цинка, серебра и т. д., то когда платина находит элемент, с которым она может соединиться, она входит в соединение, ведет себя так же, как другие элементы при гальваническом разложении, быстро переносится через расплавленное вещество и выталкивается у отрицательного полюса.

546. В теории г. де ля Рива я не вижу никаких оснований, а в теориях, приписывающих электрохимическое разложение производимым полюсом притяжениям и отталкиваниям, усматриваю лишь очень мало оснований для того, чтобы металл положительного полюса не мог переноситься через промежуточный проводник и отлагаться у отрицательного полюса даже в том случае, когда он не может химически действовать на элементы окружающей его жидкости. Это обстоятельство нельзя приписать тому, чтобы действие предотвращалось силами сцепления, ибо то же наблюдается, когда полюсы изготовлены из легчайшей губчатой платины. Равным образом, если распустить в жидкости осажденное сульфатом железа золото, накопления последнего у отрицательного полюса не происходит; между тем, силы сцепления здесь почти полностью преодолены, частицы его настолько малы, что могут часами оставаться взвешенными и прекрасно могли бы под действием легчайшего импульса перемещаться по направлению к любому полюсу; когда же они связаны с которым-либо из присутствующих веществ химическим средством, то сильно стремятся к отрицательному полюсу.¹

¹ При производстве этого опыта надо принять все меры предосторожности, чтобы не присутствовало какое-либо вещество, которое могло бы химически действовать на золото. Хотя я брал очень тщательно вымытый и разведенный в разбавленной серной кислоте металл, тем не менее, я сначала получал золото у отрицательного полюса, и эффект повторялся при

547. В подкрепление этих доводов можно заметить, что до сих пор (насколько мне известно) в случаях простых смесей не наблюдалось тяготения вещества к полюсу или стремления подчиняться электрическому току; иначе говоря, на разведенное в жидкости вещество, не обладающее заметным химическим сродством по отношению к ней или к веществам, которые могли бы выделиться во время действия, электрический ток, повидимому, не оказывает никакого действия. Я распускал в разбавленной серной кислоте растолченный в порошок древесный уголь и вместе с этим раствором подвергал его действию гальванической батареи, которая оканчивалась платиновыми полюсами; однако ни малейшего стремления угля к отрицательному полюсу обнаружить не удалось. Полученная возгонкой сера была размешана в такой же кислоте и подвергнута аналогичному действию, причем в качестве отрицательного полюса была взята пластинка из серебра; однако сера не обнаруживала стремления перемещаться к этому полюсу; серебро не тускнело, не появлялось и сероводорода. Сюда же относятся случай магнезии и воды (495, 533), равно как и случай сильно измельченных металлов в некоторых растворах (546); в самом деле, вещества, как, например, магнезия из раствора сульфата магнезии, которые только что сильно тяготели к полюсу, становятся по отношению к нему совершенно безразличными, как только они получают независимое существование, и удаляются, рассеиваясь в окружающей жидкости.

548. Правда, можно привести множество примеров нерастворимых тел, как то: стекло, сульфат бариты, мрамор, сланец, базальт и т. д., на которые электрический ток действует, но

замене платиновых полюсов. Однако при исследовании прозрачной жидкости гальванического элемента, после осаждения металлического золота, я нашел в растворе небольшое количество этого металла, причем хлор также присутствовал в незначительных количествах. Поэтому я хорошо промыл подвергавшееся гальваническому воздействию золото, развел его в новой порции чистой разбавленной серной кислоты и тогда нашел, что оно под действием гальванического элемента не обнаруживало ни малейшего стремления к отрицательному полюсу.

они не представляют собой исключения; дело в том, что вещества, которые они выделяют, в смысле химического сродства непосредственно и тесно родственны тем веществам, которые они находят в окружающем растворе, так что эти случаи разложения относятся по типу к обычным реакциям.

549. Отсюда может быть сделан общий вывод, что вещества, наиболее противоположные друг другу по химическому сродству, наиболее *легко* отделяются друг от друга в случаях электрохимического разложения, при условии, конечно, что этому не препятствуют другие обстоятельства, например, отсутствие растворимости, недостаточная проводимость, несоответствие количественных отношений и т. д. Известно, что так обстоит дело с водой и растворами солей, а я нашел, что это столь же справедливо для безводных иодидов и хлоридов, солей и т. п., когда их подвергают электрохимическому разложению в расплавленном состоянии (402). Поэтому, когда мы применяем гальваническую батарею для разложения таких тел, которые до сих пор еще не были разложены на более простые, чем они сами, вещества, надо помнить, что успех может зависеть не от слабости, а неудача — не от силы химического сродства, которым исследуемые элементы удерживаются в соединении, а как раз наоборот; и тогда можно было бы придумать новые методы, посредством которых *в сочетании* с обычными химическими силами и при помощи расплавления (394, 417) мы могли бы значительно глубже, чем в настоящее время, проникнуть в строение наших химических элементов.

550. Наиболее изящными и изумительными опытами электрохимического разложения и *переноса*, описанными сэром Гемфри Дэви в его знаменитом докладе,¹ являлись те, в которых кислоты проходили через щелочи, а щелочи или [щелочные] земли — через кислоты;² вызывало величайшее удивление то, каким образом предупреждалось соединение веществ, обладающих

¹ Philosophical Transactions, 1807, стр. 1.

² Там же, стр. 24 и т. д.

наисильнейшим притяжением друг к другу, т. е. каким образом, как говорится, было уничтожено или временно прекращено действие их естественного химического сродства на протяжении всей цепи. Однако, если правилен тот взгляд на эти действия, которого придерживаюсь я, то становится ясным следующее: что казалось необычным, в действительности является *существенным условием* переноса и разложения, и чем больше щелочи имеется на пути кислоты, тем более будет облегчен перенос этой кислоты от полюса к полюсу. И, быть может, нельзя придумать лучшего пояснения для различия между существовавшими ранее и предложенной мною сейчас теориями, чем то, как они соответственно разъясняют подобные факты.

551. Случаи, в которых вследствие осаждения сульфата бариты, серная кислота не могла быть проведена через окись бария или же окись бария через серную кислоту,¹ относятся к области действия рассмотренного выше закона (380, 412), согласно которому жидкое состояние является необходимым условием для существования проводимости и разложения. Когда эти вещества образуют твердый сульфат бариты, они лишаются способности проводить электричество столь низкого напряжения, как электричество гальванической батареи, и действие на них последней уменьшается почти до бесконечности.

552. Выдвинутая мною теория находится в очень удовлетворительном согласии с тем фактом, что элемент или вещество осаждается или, вернее, выделяется то у одного, то у другого полюса. Это явление очень хорошо видно на примере серы.² При разложении серной кислоты элементом сера выделяется у отрицательного полюса, но когда подобным же образом разлагается сернистое серебро (436), то сера появляется у положительного полю-

¹ Там же, стр. 25 и т. д.

² В пп. 681 и 757 седьмой серии будут приведены поправки к положению, высказанному здесь относительно серы и серной кислоты. В настоящее время не имеется хорошо проверенного факта, который бы подтверждал, что одно и то же тело может непосредственно направляться к *любому* из двух полюсов по произволу. Дек. 1838 г.

са; если пользоваться горячим платиновым полюсом для того, чтобы выделившаяся в последнем случае сера испарялась, то отношение этого полюса к сере оказывается точно таким же, как отношение того же полюса, если погрузить его в воду, к кислороду. В обоих случаях выделяющийся элемент освобождается у полюса, но им не удерживается, а в силу своего упругого, не допускающего соединения или смешивания состояния проходит в окружающую среду. Тяготение серы в двух противоположных направлениях, повидимому, обусловлено различным сродством ее к кислороду и серебру, и именно такому сродству я в основном приписывал все электрохимические явления. Там, где сродства нет, электрохимическое действие не может иметь места. Там, где оно сильнее, сильнее и электрохимическое действие; там, где оно меняется на обратное, одновременно меняется направление переноса вещества.

553. Воду можно рассматривать, как одно из тех веществ, которые можно переносить к *любому* полюсу. Когда полюсы погружены в разбавленную серную кислоту (527), кислота проходит к положительному, а вода — к отрицательному полюсу; тогда как при погружении их в разбавленную щелочь последняя проходит к отрицательному, а вода — к положительному полюсу.

554. Еще одним веществом, которое, как полагают, может идти к любому полюсу, является азот, однако вследствие многочисленности образуемых им соединений, из которых одни проходят к одному, а другие — к другому полюсу, я иногда затруднялся определить истинные условия его появления. Чистый крепкий раствор аммиака является таким плохим проводником электричества, что его лишь немного легче разложить, чем чистую воду; однако, если в нем растворить сульфат аммония, то разложение протекает легко; у положительного полюса выделяется почти чистый, а в некоторых случаях и вполне чистый азот, а у отрицательного полюса — водород.

555. С другой стороны, если разлагать крепкий раствор нитрата аммония, то у положительного полюса появляется кислород, а у отрицательного полюса — водород, иногда вместе с азотом.

При электролизе расплавленного нитрата аммония у отрицательного полюса появляется водород, в смеси с небольшим количеством азота. Крепкая азотная кислота дает большое количество кислорода у положительного полюса, но не дает никакого газа (только азотистую кислоту) — у отрицательного. Слабая азотная кислота выделяет содержащиеся в воде кислород и водород, причем кислота, повидимому, остается неизменной. Крепкая азотная кислота с растворенным в ней нитратом аммония дает у отрицательного полюса газ, состоящий главным образом из водорода, но, повидимому, в нем имеется также немного азота. Я полагаю, что в некоторых из этих случаев у отрицательного полюса появлялось немного азота. Я подозреваю, однако, что во всех этих и во всех предыдущих случаях появление азота у положительного или отрицательного полюса всецело представляет собой вторичное действие, а не прямой результат разлагающей способности электрического тока.¹

556. Теперь следовало бы сделать несколько замечаний относительно того, что называется *полюсами* гальванической батареи. Полюсы — это не что иное, как поверхности, или ворота, через которые электричество входит в разлагаемое вещество или же выходит из него. Они ограничивают протяжение этого вещества на пути электрического тока, являясь его *концами* в этом направлении; поэтому выделяющиеся элементы доходят до этого места, но не дальше.

557. Металлы представляют собой превосходные полюсы благодаря их высокой проводимости, несмешиваемости с подвергаемыми действию веществами, твердому состоянию и полной возможности выбирать именно такие металлы, которые не подвержены химическому действию обычных веществ.

558. Вода представляет собой полюс, применение которого, за исключением немногих случаев (494), затруднено ее низкой проводимостью, способностью смешиваться с большинством под-

¹ Подтверждение справедливости этого предположения см. в пп. 748, 752 и т. д. Дек. 1838 г.

вергаемых действию веществ и общности с ними в смысле химического сродства. Она состоит из элементов, которые по своим электрическим и химическим свойствам являются прямо и резко противоположными, хотя, соединяясь, они образуют вещество, по своим свойствам более нейтральное, чем всякое другое. Поэтому существует только немного веществ, которые не входят в силу химического сродства во взаимодействие с водой или одним из ее элементов; а потому либо вода, либо ее элементы переносятся (электрическим током) или способствуют переносу бесконечного количества разнообразных тел, которые в соединении с ней могут быть помещены на пути электрического тока. В этом и заключается причина, почему выделяющиеся вещества так редко остаются у первоначальной поверхности воды, и почему она, таким образом, не ведет себя как обычный полюс.

559. Однако к воздуху и некоторым газам последнее возражение не относится, и во многих случаях (461 и т. д.) ими можно пользоваться как полюсами; однако вследствие присущей им чрезвычайно низкой проводимости ими нельзя пользоваться в сочетании с гальванической батареей. Это ограничивает область их применения, так как гальваническая батарея является единственным до сего времени известным источником, который дает количество электричества, достаточное (371, 376) для того, чтобы с легкостью производить электрохимическое разложение.

560. Когда полюсы подвержены химическому действию выделяющихся веществ либо вследствие их естественного сродства с ними, либо вследствие усиления этого сродства под влиянием тока (518), то они претерпевают коррозию, и растворенные частицы переносятся таким же образом, как и частицы вещества, подвергавшегося разложению ранее. Можно привести огромный ряд явлений этого рода в подкрепление того взгляда, которого я придерживаюсь в отношении причины как электрохимического разложения, так и переноса и выделения элементов. Так, например, платина, если ее взять в качестве положительного и отрицательного полюсов в растворе сульфата натрия, не обладает сродством или притяжением к выделяющимся кислороду,

водороду, кислоте или щелочи, отказывается вступать с ними в соединение и удерживать их. Цинк может соединяться с кислородом и кислотой; у положительного полюса он вступает в соединение и немедленно в виде окиси начинает перемещаться к отрицательному полюсу. Древесный уголь, который неспособен соединяться с металлами, если взять его в качестве отрицательного полюса в растворе соли металла, отказывается вступать в соединение с веществами, выделяемыми из раствора на его поверхности; но когда он является положительным полюсом в разбавленном растворе серной кислоты, то он получает способность соединяться и в силу этого вступает в соединение с выделяющимся там кислородом, давая в избытке как углекислоту, так и окись углерода.

561. Металлы часто представляют значительные преимущества в смысле возможности выбора для полюса вещества, которое бы подвергалось или не подвергалось действию выделяющихся элементов. Заслуживает внимания вытекающее отсюда применение платины. При разложении сернистого серебра и других сернистых соединений положительный серебряный полюс имеет преимущество перед платиновым потому, что в первом случае выделяющаяся сера вступает на полюсе в соединение с серебром, и разложение первоначального сернистого серебра делается очевидным, тогда как в последнем случае сера рассеивается, и не легко удостовериться в ее отделении у полюса.

562. Предложенная мною теория весьма просто объясняет те явления, которые имеют место в случаях, когда в цепь электрического тока последовательно помещены проводящие разложимые и неразложимые вещества, как, например, провода и растворы или воздух и растворы (465, 469). Вследствие реакции составных частей каждой порции разлагаемого вещества, находящегося под дополнительным влиянием электрического тока (524), порции более близких или более удаленных элементов следуют в направлении электрического тока до тех пор, пока они не встречают вещество противоположного рода, способное производить их перенос, и в равной мере претерпевающее и их

влияние; когда же им больше не попадает на пути такое вещество, они выделяются в свободном состоянии, т. е. на поверхностях металла или воздуха, ограничивающих объем разлагаемого вещества в направлении тока.

563. Представив таким образом свою теорию относительно того, каким образом осуществляется электрохимическое разложение, я в настоящий момент воздержусь от многочисленных вытекающих отсюда общих рассуждений, желая сначала подвергнуть ее испытанию путем ее обнародования и обсуждения.

Королевский институт.

Июль 1833 г.

ШЕШТАЯ СЕРИЯ

Раздел 12. О способности металлов и других твердых тел вызывать соединение газообразных тел.

Поступило 30 ноября 1833 г. Доложено 11 января 1834 г.

РАЗДЕЛ 12

О способности металлов и других твердых тел вызывать соединение газообразных тел

564. По тем заключениям, к которым я прихожу в настоящем сообщении, могло бы казаться, что последнее никак нельзя включать как часть в исследования по электричеству; ибо, как бы ни были замечательны эти явления, ту силу, которая их производит, можно считать электрической по происхождению разве только в том смысле, что этот тончайший агент является общей причиной для всякого притяжения частиц. Поскольку, однако, полученные явления были обнаружены при электрических исследованиях, поскольку они непосредственно связаны с другими явлениями электрической природы, и поскольку с ними по необходимости приходится считаться и их избегать в очень обширном ряде электрохимических разложений (707), — я считаю себя вправе привести их описание здесь.

565. Я думаю, что с помощью опытов, которые будут описаны далее (705), я доказал постоянство и определенность химического действия известного количества электричества, независимо от того, каково его напряжение и каковы условия, в кото-

рых происходит его передача через разлагаемое тело или более совершенные проводники, и я имел в виду, основываясь на этом результате, построить новый измерительный прибор, который по характеру его применения можно, по крайней мере предварительно, назвать *вольта-электрометром* (739).¹

566. Во время опытов, предпринятых с целью сделать этот прибор пригодным, я иногда, к своему удивлению, наблюдал, что газы, полученные при разложении воды, выделялись в недостаточном количестве, и что даже газы, которые уже были выделены, собраны и измерены, отчасти исчезали.

Обстоятельства, при которых имело место исчезновение, были следующие. Два платиновых полюса были укреплены в верхнем, наглухо запаянном конце стеклянной трубки, длиной примерно в двенадцать дюймов и в $3/4$ дюйма диаметром; там, где полюсы проходили через стекло, они состояли из проволоки, но ниже они заканчивались пластинками, которые были припаяны к проволокам золотом (рис. 57). Трубка была наполнена разбавленной серной кислотой и опрокинута над чашкой с той же жидкостью. К этим двум проволокам присоединялась гальваническая батарея; выделившиеся кислород и водород заполняли четыре пятых трубки, или

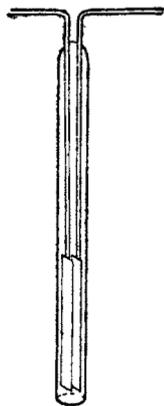


Рис. 57.

116 имевшихся на ней делений. Когда трубка отключалась от гальванической батареи, объем газа немедленно начинал уменьшаться; по истечении примерно пяти часов газ занимал всего $13\frac{1}{2}$ делений и, в конце концов, исчезал совершенно.

567. С помощью различных опытов было найдено, что это явление обусловлено не утечкой или растворением газа и не обратным соединением кислорода и водорода, которое, как можно было предположить, происходило в силу какого-либо особого состояния, свойственного этим газам при указанных условиях,

¹ Или вольтаметром. Дек. 1838 г.

но что оно вызывалось действием одного или обоих находящихся в трубке полюсов на окружающий их газ. Если отсоединить полюсы от элемента после того, как они подействовали на разбавленную серную кислоту, и ввести их в отдельные трубки, содержащие смесь кислорода и водорода, то оказывается, что положительный полюс вызывает, отрицательный же, повидимому, не вызывает соединения газов (588). Было также найдено, что между положительным полюсом и одним только кислородом или одним только водородом заметного взаимодействия не происходило.

568. На основании этих опытов указанные явления надо считать следствием присущей платине способности вызывать соединение кислорода и водорода при обычных и даже при низких температурах после того, как она служила положительным



Рис. 58.

полюсом гальванического элемента. Это действие является, насколько мне известно, совершенно новым, и немедленно было произведено исследование, чтобы установить, действительно ли оно является по своей природе электрическим и в какой мере оно мешает количественному определению выделяющихся при электрохимическом разложении веществ, что составляет предмет четырнадцатой серии настоящих исследований.

569. Было изготовлено несколько платиновых пластинок (рис. 58). Они имели около половины дюйма в ширину и два с половиной дюйма в длину; некоторые из них были толщиной в $\frac{1}{200}$ дюйма, другие — не более $\frac{1}{500}$ дюйма, тогда как у некоторых толщина доходила до $\frac{1}{70}$ дюйма. К каждой из этих пластинок с помощью чистого золота был припаян кусок платиновой проволоки, примерно в семь дюймов длиною. Затем было из-

готовлено большое число стеклянных трубок; они имели примерно девять или десять дюймов в длину, внутренний диаметр их был равен $5/8$ дюйма; они были наглухо запаяны на одном конце и градуированы. В эти трубки, помещенные над пневматической ванной, вводилась смесь двух объемов водорода с одним объемом кислорода; продержав одну из описанных пластин в соединении с положительным или отрицательным полюсом гальванической батареи в течение заданного промежутка времени или обработав другим способом, ее вводили через воду в находящийся в трубке газ. Все вместе оставлялось в особом стакане (рис. 59) на более или менее длительный промежуток времени, чтобы можно было наблюдать за явлением.



Рис. 59.

570. В качестве иллюстрации подлежащего изучению явления можно привести следующий опыт. Разбавленная серная кислота с удельным весом 1,336 была налита в стеклянный сосуд, в котором находилась также большая платиновая пластинка, соединенная с отрицательным концом умеренно заряженной гальванической батареи, состоявшей из сорока пар четырехдюймовых пластин, где медные пластины были двойные. Затем одна из описанных выше пластинок (569) была соединена с положительным концом и на пять минут погружена в тот же самый сосуд с кислотой, после чего она была отключена от батареи, промыта дистиллированной водой и через воду пневматической ванны введена внутрь трубки, содержащей смесь кислорода и водорода (569). Объем газов немедленно начинал падать, и уменьшение это происходило все более и более быстро, пока не исчезло около $3/4$ смеси. Верхний конец трубки стал совсем теплым, а сама пластинка настолько горячей, что подымавшаяся выше ее вода закипела; по истечении менее чем минуты исчезло полтора кубических дюйма газов, которые под влиянием платины вступили в соединение и превратились в воду.

571. Это необыкновенное свойство, приобретаемое платиной у положительного полюса элемента, при выделении кислорода и водорода проявляется со значительно большей легкостью и эффективностью, чем при всякой другой из исследованных мною газовых смесей. Один объем закиси азота был смешан с одним объемом водорода и введен в трубку, где имелась пластинка, которая предварительно в течение четырех минут служила положительным полюсом в разбавленной серной кислоте (570). На протяжении часа не было никакого заметного действия; через тридцать шесть часов стояния объем уменьшился примерно на одну восьмую. Действие происходило, но было очень слабо.

572. Смесь одного объема закиси азота с одним объемом водорода была помещена в трубку с обработанной подобным же образом пластинкой (569, 570). Здесь также не обнаруживалось немедленного действия, но через тридцать шесть часов оказалось, что исчезло около четверти всей смеси, т. е. около половины кубического дюйма. Из сравнения с другой трубкой, содержащей такой же газ, но не содержащей пластинки, явствовало, что уменьшение количества газа было обусловлено отчасти растворением, а отчасти влиянием платины; однако действие было очень медленно и слабо.

573. На смесь одного объема масляного газа с тремя объемами кислорода такая платиновая пластинка не действовала, даже когда оставалась в ней в течение нескольких дней (640, 641).

574. Смесь двух объемов окиси углерода с одним объемом кислорода в течение нескольких дней также не поддавалась действию обработанной указанным образом платиновой пластинки (645 и т. д.).

575. В нескольких опытах бралась смесь равных объемов хлора и водорода при обработанных таким же образом пластинках (570). Вскоре начиналось уменьшение объема, но когда, по истечении тридцати шести часов, газы были подвергнуты исследованию, то оказывалось, что хлор почти целиком исчез благодаря поглощению его, главным образом, водой, а первоначаль-

ный объем водорода остался неизменным. Таким образом здесь соединения газов не происходило.

576. Возвращаясь к действию подвергавшихся предварительной обработке пластинок на смеси кислорода и водорода (570), я нашел, что хотя во всех случаях указанное свойство постепенно ослабевает, но его, тем не менее, можно сохранить на некоторый промежуток времени, продолжительность которого меняется в зависимости от обстоятельств. Когда в содержащие пластинки трубки (569), по мере конденсации начальных объемов, вводились свежие порции смеси кислорода и водорода, то оказывалось, что действие продолжалось в течение свыше тридцати часов, а в некоторых случаях можно было наблюдать медленное соединение газов даже по истечении восьмидесяти часов; однако продолжительность действия в сильной степени зависела от чистоты взятых газов (638).

577. Несколько пластинок (569) в течение четырех минут получали положительный заряд, находясь в разбавленной серной кислоте с удельным весом 1,336, затем были хорошо промыты дистиллированной водой; после этого две из них были закупорены в небольшую бутылку, а другие оставлены на открытом воздухе. Было найдено, что пластинки, которые хранились в ограниченном количестве воздуха, сохраняли свои свойства в течение восьми дней, а те, которые держались на открытом воздухе, почти полностью теряли свою силу за двенадцать часов, а при некоторых условиях, когда имели место потоки воздуха, — в течение гораздо более короткого срока.

578. Пластинки в течение пяти минут делались положительными, находясь в серной кислоте с удельным весом 1,336. Одна из них, по отключении от батареи, была на восемь минут оставлена в той же кислоте; после этого она действовала на смесь кислорода и водорода, повидимому, с неослабленной силой. Другие после электризации оставались в такой же кислоте в течение сорока часов, а некоторые — даже восьми дней; после этого они вызывали соединение кислорода с водородом столь же успешно, как и пластинки, пущенные в работу немедленно после электризации.

579. Подобным же образом было исследовано действие раствора едкого кали в отношении сохранения свойств платиновых пластинок. Будучи оставлены в таком растворе в течение сорока часов, пластинки эти действовали на кислород и водород чрезвычайно сильно, а одна из них вызвала столь быструю конденсацию газов, что сама сильно нагрелась, и я ожидал, что температура возрастет до каления.

580. Когда обработанные таким же образом пластинки (569) были на сорок часов помещены в дистиллированную воду, а затем введены в смесь кислорода и водорода, то было обнаружено, что они производят лишь очень медленное и слабое действие по сравнению с теми пластинками, которые хранились в кислотах или в щелочах. Однако, когда количество воды было очень незначительно, то свойство пластинок по истечении трех или четырех дней ослабевало очень незначительно. Так как вода хранилась в деревянном сосуде, то часть ее была подвергнута повторной перегонке в стеклянном сосуде; такая вода оказалась способной сохранять обработанные пластинки в течение значительного промежутка времени. Обработанные пластинки были помещены в трубки с такой водой и закупорены в них. Некоторые из них, вынутые через двадцать четыре дня, действовали на смесь кислорода и водорода очень сильно; другие, после пребывания в воде в течение пятидесяти трех дней, все еще оказывались способными вызывать соединение газов. Трубки были закупорены только пробками.

581. Самый процесс соединения газов всегда, казалось, ослаблял или как бы истощал это свойство платиновой пластинки. Правда, в большинстве случаев, если не всегда, соединение газов, сначала незаметное, постепенно ускорялось и иногда кончалось взрывом. Однако, когда взрыва не наступало, то скорость соединения падала, и, несмотря на то, что в трубки вводились свежие порции газа, соединение все больше и больше замедлялось и, наконец, совсем прекращалось. Первое явление — увеличение скорости соединения газов — обусловлено отчасти тем, что, вследствие стекания воды с платиновой пластины, контакт

газов с этой последней улучшается, а отчасти тем теплом, которое развивается по мере того, как соединение идет вперед (630). Однако, несмотря на влияние этих причин, всегда имело место ослабление, а в конце концов и исчезновение этой способности. Нельзя, однако, не отметить, что чем чище были газы, подвергаемые действию пластинки, тем дольше сохранялась ее способность производить соединение. Когда газы, из которых состояла смесь, выделялись около полюсов гальванического элемента в чистой разбавленной серной кислоте, эта способность сохранялась дольше всего, а в смеси совершенно чистых кислорода и водорода, она, по всей вероятности, не будет ослабевать вовсе.

582. Весьма любопытным образом влияли на указанное свойство платиновой пластинки различные способы обработки, которой она подвергалась после того, как переставала быть положительным полюсом элемента. Пластика, служившая в течение четырех или пяти минут положительным полюсом в разбавленной серной кислоте с удельным весом 1,336, промытая водой и помещенная в смесь кислорода и водорода, всегда действует очень сильно и конденсирует, пожалуй, полтора кубических дюйма газа в течение шести или семи минут. Но если та же самая пластинка была не просто промыта, а оставлена на двенадцать, пятнадцать или более минут в дистиллированной воде, то при внесении ее в смесь кислорода и водорода она почти всегда раскалялась в течение одной-двух минут и обычно вызывала взрыв газов. Иногда проходило восемь, девять, а иногда даже сорок минут, прежде чем наступало действие, и все же получались накал и взрыв. Данное явление объясняется тем, что при этом удаляется часть той кислоты, которая при других условиях плотно прилипает к пластинке.¹

583. Иногда платиновые пластинки (569), служившие перед тем положительным полюсом батареи, промывались, вытирались фильтровальной бумагой или тряпкой, а затем вновь промывались

¹ Доказательство справедливости этого взгляда см. в п. 1038. Дек. 1838 г.

и вытирались. При последующем введении в смесь кислорода и водорода они действовали так, как если бы вышеуказанная обработка на них не повлияла. Иногда содержащиеся газ трубки на один момент открывались на воздухе, и пластинки в них вводились сухими; однако заметной разницы в действии обнаружено не было, за исключением того, что оно начиналось раньше.

584. Была также исследована (595) способность тепла влиять на действие обработанных платиновых пластинок. Пластинки, делавшиеся положительными в течение четырех минут в разбавленной серной кислоте, хорошо промывались водой и нагревались до красного каления в пламени спиртовой лампочки; после этого они действовали на смесь кислорода и водорода весьма сильно. Другие, которые были подогреты сильнее с помощью паяльной лампы, также действовали после этого на газы, хотя и не так сильно, как первые. Следовательно, ясно, что тепло не лишает платину способности, приобретаемой ею у положительного полюса элемента; случайное ослабление этой способности всегда можно было отнести за счет действия не тепла, а других причин. Если, например, пластинка не была тщательно отмыта от кислоты, если взятое для опыта пламя коптило, если спирт в той лампочке, от которой получалось пламя, содержал в небольших количествах кислоты или если на фитиле находилось немного соли или другого вещества, то указанная способность пластинки падала быстро и сильно (634, 636).

585. Это замечательное свойство сообщалось пластинке, когда она служила положительным полюсом, одинаково, если серная кислота, в которую она погружалась, имела удельный вес 1,336 или была значительно более разбавлена, или более крепка, вплоть до крепости купоросного масла. С тем же успехом действовали крепкая и разбавленная азотная кислота, разбавленная уксусная кислота и растворы виннокаменной, лимонной и щавелевой кислот. При употреблении соляной кислоты пластинки также приобретали способность конденсировать кислород и водород, но в значительно более слабой степени.

586. Пластинки, которые делались положительными в растворе едкого кали, не обнаруживали заметного действия на смесь кислорода и водорода. Другие пластинки, которые делались положительными в растворах карбонатов кали и натра, проявляли это действие, но лишь в слабой степени.

587. При опытах с нейтральными растворами сульфата натра, селитры, хлората, фосфата или ацетата кали, или же сульфата меди, пластинки, делавшиеся в них положительными в течение четырех минут и затем промытые водой, действовали на смесь кислорода и водорода быстро и сильно.

588. Если говорить о причине этого свойства платины, то весьма важно было установить, *один ли положительный* полюс может сообщать его (567), или же, несмотря на многочисленные противоречащие этому данные, обладает этим свойством *и отрицательный* полюс, если устранить все те обстоятельства, которые могли бы помешать этому действию или не допустить его вовсе. С этой целью три пластинки в течение четырех минут делались отрицательными, будучи погружены в разбавленную серную кислоту с удельным весом 1,336, промывались дистиллированной водой и помещались в смесь кислорода и водорода. *Все они действовали* на смесь, хотя и не так сильно, как это было бы, если бы делать их положительными. Каждая в течение двадцати пяти минут конденсировала примерно один с четвертью кубический дюйм газов. При всех повторениях опыта получался одинаковый результат, а когда пластинки перед внесением их в газ (582) оставлялись на десять или двадцать минут в воде, действие значительно ускорялось.

589. Но если в кислоте присутствовал какой-либо металл или другое вещество, которое могло осаждаться на отрицательной пластинке, тогда эта пластинка переставала действовать на смесь кислорода и водорода.

590. Эти опыты заставляют думать, что способность вызывать соединение кислорода и водорода, которую можно было сообщить куску платины, сделав его положительным полюсом гальванического элемента, не зависит существенным образом

ни от действия этого элемента, ни от того или иного строения или расположения частиц, которые платина могла приобрести при соединении с ним, но что эта способность присуща платине всегда и *действует всякий раз*, как поверхность последней совершенно чиста. И хотя можно было бы считать, что при пользовании пластинкой в кислотах в качестве *положительного* полюса элемента получают наиболее благоприятные условия для очищения ее поверхности, все же представлялось вполне возможным, что и обычные операции могли бы привести к такому же результату, хотя и менее резко выраженному.

591. В соответствии с этим воззрением платиновая пластинка (569) была почищена, для чего ее терли пробкой, небольшим количеством воды и золой на стеклянной пластинке; затем она была промыта и помещена в смесь кислорода и водорода; оказалось, что она действовала на газы сначала медленно, а затем более быстро. В течение часа исчезло полтора кубических дюйма смеси.

592. Другие пластинки чистились обыкновенной шкуркой и водой; третьи — мелом и водой, четвертые — наждаком и водой; пятые — черной окисью марганца и водой и, наконец, шестые — куском древесного угля и водой. Все пластинки в трубках с кислородом и водородом обнаруживали действие, вызывая соединение газов. Это действие отнюдь не было столь же сильным, как действие, производимое пластинками, бывшими в соединении с батареей, но за время от двадцати пяти до восьмидесяти или девяноста минут исчезало от одного до двух кубических дюймов газов.

593. Если чистить пластинки с помощью пробки, наждачного порошка и разбавленной серной кислоты, они, как оказывалось, действовали еще лучше. Для простоты пробка была оставлена и заменена куском листовой платины; явление все же наблюдалось. Затем вместо кислоты был взят раствор едкого кали, но явление наблюдалось, как и ранее.

594. Эти результаты вполне доказывают, что одной механической очистки поверхности платины достаточно, чтобы прояс-

вилась ее способность производить соединение кислорода и водорода при обычных температурах.

595. Затем я испробовал, в какой мере сообщает платине указанное выше свойство теплота (584). Пластинки, которые не действовали на смесь кислорода и водорода, были подогреты на пламени свежезаправленной спиртовой лампы, усиленной паяльной трубкой, и по охлаждению были введены в трубки со смешанными газами; они действовали сначала медленно, но по истечении двух-трех часов конденсировали почти целиком весь газ.

596. Платиновая пластинка, примерно в один дюйм шириной и в два и три четверти дюйма длиной, которая еще не была в работе в предыдущих опытах, была слегка согнута так, чтобы пройти в трубку, и оставлена на тринадцать часов в смеси кислорода и водорода; ни малейшего действия или соединения газов не возникало. Пластинка была вынута из газа через воду пневматической ванны, нагрета с помощью спиртовой лампы и паяльной трубки до красного каления и затем, по охлаждению, возвращена в ту же порцию газа. По истечении нескольких минут можно было наблюдать уменьшение объема газов, а через сорок пять минут их исчезло около одного с четвертью кубического дюйма. Платиновые пластинки при нагревании приобретали способность вызывать соединение кислорода и водорода во многих других опытах.

597. Нередко, однако, случалось, что пластинки после нагревания не обнаруживали способности соединять кислород с водородом, хотя их и оставляли в газах спокойно в течение двух часов. Иногда случалось также, что пластинка, которая, будучи нагрета до темнокрасного каления, действовала слабо, совсем переставала действовать, когда ее нагревали до белого каления; в других случаях пластинка, не действовавшая при легком нагревании, при более сильном нагревании становилась активной.

598. Хотя, таким образом, теплота и ненадежна по своему действию, и она часто ослабляет способность, сообщенную пластинам у положительного полюса элемента (584), тем не менее,

очевидно, что она может активировать платину, бывшую ранее инертной (595). Причина случающейся иногда неудачи, по видимому, лежит в том, что поверхность металла загрязняется либо чем-то приставшим к ней ранее и под действием тепла прилипающим к ней еще более плотно, либо веществом, получающимся из пламени лампы или даже из воздуха. Часто случается, что поверхность отполированной платиновой пластинки после нагревания спиртовой лампой и паяльной трубкой темнеет и тускнеет от чего-то, образовавшегося или отложившегося на ней; уже этой, и даже гораздо меньшей, причины достаточно для того, чтобы предотвратить проявление той ее любопытной способности, которая нами сейчас рассматривается (634, 636). Существует также указание, что платина может соединяться с углеродом, и очень возможно, что при процессе нагревания, когда присутствует углерод или его соединения, может образоваться пленка из такого углеродистого соединения, которая не допускает проявления свойств, присущих чистой платине.¹

599. Затем было экспериментально изучено действие щелочей и кислот в смысле сообщения платине этого свойства. Не действующие на смесь кислорода и водорода пластинки (569), будучи прокипячены в растворе едкого кали, промыты и затем помещены в газы, действовали иногда довольно сильно, но иногда не действовали вовсе. Я считал, что в последнем случае загрязнение поверхности платины было таково, что его нельзя было устранить одним только растворяющим действием щелочи; в самом деле, когда пластины были протерты небольшим количеством наждака и тем же щелочным раствором (592), они становились активными.

600. Действие кислот было более постоянно и удовлетворительно. Платиновая пластинка была прокипячена в разбавленной азотной кислоте; будучи промыта и помещена в смесь кислорода

¹ Теплота сообщает платине это свойство единственно путем разрушения или рассеивания органического или другого вещества, до этого загрязнявшего пластинку (632, 633, 634). Дек. 1838 г.

и водорода, она действовала сильно. Другие пластины кипятились в крепкой азотной кислоте от полминуты до четырех минут и после промывания дистиллированной водой оказывались действующими очень сильно, конденсируя в течение восьми — девяти минут полтора кубических дюйма газа и вызывая нагревание трубки (570).

601. Весьма успешно активировала платину крепкая серная кислота. Пластинка подогревалась в кислоте в течение одной минуты, затем была промыта и помещена в смесь кислорода и водорода; она действовала на нее также сильно, как если бы предварительно служила положительным полюсом гальванического элемента (570).

602. Те пластинки, которые после нагревания или электризации в щелочи или после какой-нибудь другой обработки, оказывались инертными, будучи погружены на одну-две минуты, или хотя бы на один момент, в горячее купоросное масло и затем в воду, немедленно приобретали изучаемое нами свойство.

603. Когда пластинка была погружена в купоросное масло, вынута из него и затем нагрета для удаления кислоты, то она не действовала вследствие загрязнения, оставленного кислотой на ее поверхности.

604. Растительные кислоты, как уксусная и виннокаменная, иногда активировали инертную платину, а иногда нет. Я полагаю, что это зависело от природы того вещества, которое перед тем загрязняло пластинки и которое, как естественно предположить, в одних случаях удаляется этими кислотами, а в других нет. Слабая серная кислота обнаруживала такое же различие действий, тогда как с крепкой серной кислотой (601) неудач никогда не было.

605. Наиболее действительным способом обработки, если не считать того, когда платину делают положительным полюсом в крепкой кислоте, являлся следующий. Пластинку держали над пламенем спиртовой лампы и в горячем виде протирали куском едкого кали; последний, расплавляясь, покрывал металл слоем очень крепкой щелочи; этот слой в течение одной или двух се-

кунд¹ оставляли расплавленным на поверхности; затем пластинку на четыре-пять минут опускали в воду, чтобы смыть щелочь, встряхивали и примерно на минуту погружали в горячее купоросное масло; отсюда ее переносили в дистиллированную воду, где ее оставляли от десяти до пятнадцати минут для удаления последних следов кислоты (582). При последующем введении пластины в смесь кислорода и водорода соединение начиналось немедленно и протекало быстро; трубка нагревалась, платина доходила до красного каления, и остаток газов воспламенялся. Это действие можно было по желанию повторять несколько раз; таким образом явление можно было получить в максимальном его виде без помощи гальванической батареи.

606. Когда при этом способе обработки серная кислота была заменена виннокаменной или уксусной, то пластинка все же, как оказывалось, приобретала те же свойства и часто вызывала взрыв смеси газов; однако крепкая серная кислота действовала наиболее надежно и наиболее сильно.

607. Если на поверхности платиновой пластинки расплавить буру или смесь карбонатов кали и натра и хорошо промыть эту пластинку водой, то она обнаруживает способность вызывать соединение кислорода с водородом, однако лишь в умеренной степени; если же после расплавления и промывания пластинку погрузить в горячую серную кислоту (601), то она становится весьма активной.

608. Далее были произведены опыты с другими металлами, помимо платины. Золото и палладий проявляли указанную способность и в том случае, когда предварительно служили положительным полюсом гальванической батареи (570), и при действии на них горячего купоросного масла (601). В случае палладия действие батареи или кислоты должно быть ослаблено, так как этот металл при указанных условиях легко подвер-

¹ Не следует повышать температуру настолько, чтобы щелочь вызвала потемнение платины, хотя и это не препятствует последующему действию.

гается химическому действию. С серебром и медью при обычных температурах *никакого действия получить* не удалось.

609. Не остается никаких сомнений в том, что свойство вызывать соединение газов, сообщаемое массе платины и других металлов присоединением их к полюсам батареи или механической или химической очисткой их, является тем же самым свойством, которое, как открыл в 1823 г. г. Доберейнер (Dobereiner),¹ в столь сильной степени присуще губчатой платине, и которое потом так хорошо было экспериментально изучено и разъяснено гг. Дюлонгом (Dulong) и Тенаром (Thénard)² в 1823 г. Эти ученые приводят даже опыты, в которых очень тонкая платиновая, проволока, свернутая и предварительно проваренная в азотной, серной или соляной кислотах, при внесении ее в струю водорода³ раскалялась. В настоящее время я могу, с помощью описанных

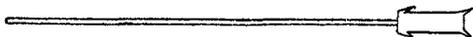


Рис. 60.

процессов (570, 601, 605), вызывать это действие по произволу как с проволоками, так и с пластинками; и если брать пластинку поменьше, вырезанную таким образом, чтобы она могла лежать на стекле лишь несколькими точками, позволяя, тем не менее, воде стекать (рис. 60), потеря тепла оказывается меньшей, металл до некоторой степени уподобляется своему пористому видоизменению, и вероятность неудачи почти совершенно исключается.

610. Г-н Доберейнер приписывает это явление целиком электрическому действию. Он считает, что платина и водород образуют гальванический элемент обычного типа, в котором водород, будучи в высокой степени положительным, играет ту же роль,

¹ Annales de Chimie, XXIV, стр. 93.

² Там же, XXIII, стр. 440; XXIV, стр. 380.

³ Там же, XXIV, стр. 383.

как цинк в обыкновенном аппарате, и поэтому, подобно ему, притягивает кислород и с ним соединяется.¹

611. В двух прекрасных экспериментальных работах² гг. Дюлонг и Тенар показывают, что повышение температуры благоприятствует этому действию, но не изменяет его характера; накаленная добела платиновая проволока сэра Гемфри Дэви представляет собой то же самое явление, что и губчатая платина Доберейнера. Эти ученые доказывают, что в большей или меньшей степени этими свойствами обладают *все* металлы; что при повышении температуры оно присуще даже таким телам, как древесный уголь, пемза, фарфор, стекло, горный хрусталь и т. п., и что одно из наблюдавшихся Дэви явлений, в котором кислород и водород медленно соединялись при температуре ниже красного каления, в действительности было обусловлено соответствующим свойством нагретого стекла, — свойством, которое присуще этому последнему наравне с вышеупомянутыми телами. Они утверждают, что жидкости этого явления не обнаруживают, что, по крайней мере, ртуть при температуре кипения и ниже не обладает этим свойством, что оно обусловлено не пористостью, что одно и то же тело очень сильно меняется в отношении своего действия, в соответствии с состоянием тела, и что при повышении температуры проявляется влияние и на многие другие газовые смеси, помимо кислорода и водорода, и вызывается их химическое взаимодействие. Они считают возможным, что губчатая платина приобретает эту свою способность вследствие соприкосновения с выделяющейся при ее восстановлении кислотой или же вследствие нагревания, которому она при этом подвергается.

612. Относительно теории этого действия гг. Дюлонг и Тенар высказываются с большой осторожностью, но все же, упоминая о способности металлов разлагать аммиак, нагретый до таких температур, которые сами по себе еще недостаточны для того,

¹ Annales de Chimie, XXIV, стр. 94, 95; Bibliothèque Universelle, XXIV, стр. 54.

² Там же, XXIII, стр. 440; XXIV, стр. 380.

чтобы действовать на щелочь, они отмечают, что те металлы, которые в данном случае действуют наиболее сильно, наоборот, особенно слабо вызывают соединение кислорода и водорода; в то же время платина, золото и т. п., которые слабее других способны разлагать аммиак, обладают максимальной способностью вызывать соединение элементов воды. Это обстоятельство приводит вышеупомянутых ученых к предположению, что под влиянием металлов одни газы стремятся к соединению, тогда как другие стремятся к разложению, и что это свойство у различных металлов меняется в противоположных направлениях. В конце второй статьи они указывают, что действие это таково, что не может быть приведено в связь ни с какой из известных теорий; и хотя весьма замечательно, что, подобно большинству электрических действий, эти явления являются преходящими, тем не менее, вышеуказанные ученые утверждают, что большинство наблюдавшихся ими результатов нельзя объяснить предположением об их чисто электрическом происхождении.

613. Д-р Фузиньери (Fusiniери) также писал на эту тему и предложил теорию, с его точки зрения удовлетворительно объясняющую эти явления.¹ Непосредственную причину последних он определяет таким образом: «На поверхности платины происходит непрерывное возобновление плотных пленок горючего газообразного или парообразного вещества, которое, протекая над ней, сгорает, удаляется и опять возобновляется; это сгорание у поверхности повышает и поддерживает температуру металла». Предполагается, что это горючее вещество, сведенное таким образом до неуловимых пленок, уплотненные частицы которых соприкасаются с кислородом, находится в таком состоянии, в котором оно может соединиться с кислородом при значительно более низких температурах, чем находясь в газообразном состоянии, и которое больше напоминает условия, имеющие место (в момент выделения). Фактами, из которых некоторые приведены в *Giornale di Fisica* за 1824 г.,² он считает доказан-

¹ *Giornale di Fisica* и т. д., 1825, VIII, стр. 259.

² Стр. 138, 371.

ным, что горючие газы теряют свое упругое состояние и затвердевают, принимая форму тончайших и в то же время твердых пластов; и хотя, согласно теории, это состояние должно наступить при высоких температурах и хотя подобные же пленки водные или другого вещества под действием тепла рассеиваются, автор, тем не менее, принимает, что факты подтверждают это заключение вопреки всяким доводам.

614. Способность, или сила, вследствие которой горючий газ или пар при соприкосновении с твердым телом теряет свое упругое состояние, чтобы покрыть это тело тонким слоем своего же собственного вещества, не рассматривается ни как притяжение, ни как химическое средство. Благодаря этой способности жидкие и твердые тела могут распространяться в виде твердых пленок на поверхности действующего твердого тела; эта особенность заключается в *отталкивании*, которое исходит из частей твердого тела в силу одного уже факта утончения и является максимальным тогда, когда утончение доходит до конца. Эта сила развивается постепенно и действует наиболее энергично раньше всего в том направлении, в котором уменьшаются размеры утончающейся массы, а затем в направлении углов или выступов, которые по той или другой причине могут оказаться на поверхности. Эта сила не только производит спонтанное рассеивание газов и других веществ на поверхности; автор считает ее весьма элементарной по природе и пригодной для объяснения всех явлений капиллярности, химического средства, сцепления, разрежения, кипения, испарения, улетучивания, взрыва и других термометрических явлений, а равно и воспламенения, детонации и т. п. Она рассматривается, как форма тепла, которой дается название *природженного теплорода*; далее высказывается мысль, что она есть первопричина двух электричеств и двух магнетизмов.

615. Я тем сильнее старался правильно изложить существо взглядов д-ра Фузиньери, что, с одной стороны, не могу ясно представить себе ту силу, которой он приписывает данные явления, с другой — вследствие несовершенного знания языка, на котором

написана его статья. Поэтому всех, кто занимается этим вопросом, я отсылаю к самой статье.

616. Не имея, однако, ощущения, чтобы задача уже была разрешена, я позволяю себе высказать взгляд, который представляется мне достаточным для объяснения данного явления на основе уже известных положений.

617. Следует указать, что действие это, поскольку оно касается платины, нельзя объяснить каким-либо особым временным состоянием, все равно какого рода: электрического или какого-либо другого; факт активности пластинок, сделанных с помощью полюса положительными или отрицательными, или очищенных с помощью таких различных веществ, как кислоты, щелочи или вода, древесный уголь, наждак, зола или стекло, или же просто подогретых, в достаточной мере опровергает подобное мнение. Далее, это действие зависит не от того, что металл оказывается губчатым и пористым или, наоборот, плотным и полированным, массивным или тонким, так как в каждом из этих состояний металл можно сделать действующим, и можно у него отнять способность к действию. Единственным существенным условием является, повидимому, *совершенная чистота и металлическая поверхность*, так как всякий раз, как это условие выполнено, платина действует независимо в остальном от формы и состояния ее. И хотя всякие изменения в этом отношении очень сильно влияют на скорость рассматриваемого действия, а потому и на видимые проявления и вторичные действия его, т. е. на раскаливание металла и воспламенение газов, но, тем не менее, даже при наиболее благоприятном состоянии, они не могут вызвать никакого действия, если не выполнено также условие, чтобы поверхность была совершенно чистой и металлической.

618. Действие это, очевидно, производится большинством, а может быть и всеми твердыми телами; вероятно, многими из них лишь в слабой степени; но оно сильно возрастает для платины. Дюлонг и Тенар вполне научно расширили наши познания об этом свойстве, показав, что им обладают все металлы, а также щелочные земли, стекло, минералы и т. д. (611); таким

образом устраняется всякая мысль о том, что действие это является одним из уже известных и признанных электрических действий.

619. Все относящиеся сюда явления приводят меня к убеждению, что рассматриваемые действия являются совершенно случайными и имеют характер вторичных, что они обусловлены *естественными свойствами* упругости газов, связанными с проявлением той силы притяжения, которой в высокой степени обладают многие тела, особенно твердые, — силы, которая присуща, вероятно, всем телам и которая заставляет их вступать в более или менее тесную связь. При этом они не образуют химического соединения, хотя нередко сила принимает характер прилипания; иногда она, при особо благоприятных условиях, как в настоящем случае, приводит к химическому соединению тел, одновременно подвергнутых действию этого притяжения. В отношении как сил внутреннего сцепления, так и сил химического сродства я готов признать — и, вероятно, многие другие придерживаются того же мнения, — что сфера действия частиц простирается за пределы тех частиц, с которыми они непосредственно и явно связаны (523), и что во многих случаях это действие производит значительные эффекты. Я полагаю, что этот вид притяжения является основной причиной явления Доберейнера и многих других явлений того же рода.

620. Простые и общеизвестные примеры этого вида притяжения представляются телами, смачиваемыми жидкостями, с которыми они не вступают в химическое соединение, и в которых они не растворяются.

621. Более яркими примерами той же способности, стоящими несколько ближе к исследуемым случаям, являются все те тела, которые, будучи нерастворимы в воде и не соединяясь с ней химически, оказываются гигроскопичными и конденсируют пары воды на своей поверхности или вокруг нее. Если порошкообразную глину, протоксид или пероксид железа, окись марганца, древесный уголь или даже металлы, как губчатую платину или осажденное серебро, поместить в атмосферу, содержа-

щую водяные пары, то они быстро становятся влажными благодаря некоторому притяжению, которое способно сгущать пары на этих веществах, не вызывая, однако, химического соединения с ними. Если же, как общеизвестно, эти увлажненные таким образом вещества поместить в сухую атмосферу, например, в замкнутый объем над серной кислотой, или подогреть их, то они снова почти полностью отдают эту воду, так как она не находится в настоящем или постоянном соединении с ними.¹

622. Еще лучшим (так как он представляет больше аналогии с подлежащими объяснению случаями) примером указываемой мною способности является столь известное мастерам, изготовляющим барометры и термометры, притяжение, существующее между стеклом и воздухом. В самом деле, здесь прилипание, или притяжение, проявляется между твердым телом и газами, т. е. между телами в весьма различных физических состояниях, не обладающими способностью вступать в соединение друг с другом и сохраняющими во время этого действия свое физическое состояние неизменным.² Когда в барометрическую трубку наливают ртуть, то образовавшийся между металлом и стеклом слой воздуха сохраняется в течение месяцев, а может быть, насколько это известно, и в течение годов; и его возможно удалить не иначе, как действием специально применяемых для этой цели способов. Последние заключаются в кипячении ртути, или, другими словами, в образовании большого количества паров, которые, входя в соприкосновение со всеми участками стекла и поверхности ртути, постепенно перемешиваются с воздухом, притянутым и прилипшим к этим поверхностям, растворяют и уносят его,

¹ В Эдинбурге я ознакомился с примером гигроскопичности, замечательным по размерам, но, может быть, слегка усиленным незначительной растворяющей способностью. Кусок торфа был хорошо высушен длительным действием воздуха в защищенном месте; однако, подвергнутый затем действию гидростатического пресса, *он под влиянием одного только давления* отдал 54 процента воды.

² Фузиньери и Беллани считают, что в этих случаях воздух образует Твердые сгустившиеся пленки. *Giornale de Fisica*, 1825, VIII, стр. 262.

замещая воздух другими парами, подверженными такому же или может быть еще более сильному притяжению; эти же последние, по охлаждении, сгущаются в виде той же самой жидкости, которой наполнена трубка.

623. Влияние инородных тел, которые, действуя в качестве центров при кристаллизации или осаждении растворов, вызывают на себе осаждение вещества, тогда как в других частях жидкости осаждения не происходит, повидимому, объясняется способностью такого же рода, т. е. силой притяжения, распространяющейся на соседние частицы и заставляющей их удерживаться вокруг этих центров, хотя она оказывается и недостаточной для того, чтобы заставить их вступить в химическое соединение с веществом центров.

624. Из рассмотрения многих случаев центров в растворах и действия тел, помещенных в атмосферу, содержащую пары воды, камфары, иода и т. п., можно вывести, что это притяжение является отчасти как бы избирательным, напоминая по своим свойствам как силы внутреннего сцепления, так и силы химического сродства; это не только не противоречит, а напротив, даже подтверждает поддерживаемое здесь представление, согласно которому это притяжение представляет собой свойство частиц, действующих не на другие частицы, с которыми они могут вступить в непосредственное и тесное соединение, а на такие частицы, которые либо более удалены от них, либо в силу создавшихся условий, физического строения или слабого сродства неспособны образовать с ними настоящее соединение.

625. Конечно, из всех тел, именно от газов можно скорее всего ожидать, что они будут обнаруживать *взаимодействие*, когда они *совместно* находятся под действием силы притяжения платины или другого активного твердого тела. Жидкости, как вода, алкоголь и т. п., находятся в столь плотном и сравнительно несжимаемом состоянии, что трудно ожидать, чтобы их частицы приблизились друг к другу вследствие притяжения тела, к которому они прилипают еще больше; а между тем, это притяжение должно (судя по его действиям) расположить их частицы столь

же близко к частицам твердого смоченного тела, насколько они близки друг к другу; и во многих случаях вполне очевидно, что первое притяжение является более сильным. Наоборот, газы и пары представляют собой тела, способные под влиянием внешних агентов претерпевать весьма сильные изменения относительного расстояния между частицами; и там, где эти частицы находятся в непосредственном соприкосновении с платиной, приближение их к частицам металла может быть очень значительным. В случае упомянутых выше (621) гигроскопичных веществ этого оказывается достаточным для того, чтобы пары превратить в жидкость, часто из столь разреженного пространства, что при отсутствии этого влияния потребовалось бы сжать их с помощью механической силы до объема, составляющего не более $\frac{1}{10}$ или даже $\frac{1}{20}$ первоначального, чтобы они перешли в жидкое состояние.

626. Другое весьма важное соображение, касающееся этого действия тел и, насколько мне известно, до сих пор не отмеченное, относится к тому упругому состоянию, в котором газы находятся на активной поверхности. Мы обладаем лишь весьма несовершенными познаниями о действительных внутренних соотношениях частиц тел, находящихся в твердом, жидком и газообразном состоянии. Однако, когда мы говорим о газообразном состоянии, как о состоянии, обусловленном отталкиванием частиц или их «атмосфер», то, хотя мы можем и заблуждаться, представляя себе каждую частицу в виде малого ядра для атмосферы из тепла, электричества или другого агента, мы, тем не менее вряд ли впадем в ошибку, если будем считать, что упругость обуславливается *взаимностью* действия. Но эта взаимная связь совершенно отсутствует со стороны газовых частиц, находящихся по соседству с платиной, и мы можем а priori ожидать уменьшения упругой силы в этом месте по крайней мере до половины. В самом деле, если, как показал Дальтон (Dalton), упругие силы частиц одного газа не могут противодействовать упругим силам частиц другого, так как оба газа представляют друг для друга как бы пустоту, то еще менее правдоподобно, чтобы какое-

либо влияние могли оказать на рядом с ними расположенные частицы газа частицы платины, — влияние, подобное тому, которое проявили бы на них частицы того же газа.

627. Но уменьшение силы до половины на обращенной к металлу стороне газообразного тела является лишь несущественным следствием того, что, как мне кажется, неизбежно вытекает из принятого нами представления о строении газов. Атмосфера одного газа или пара, как бы он ни был плотен или сжат, является по своему действию для другого газа как бы пустотой; если поместить немного воды в сосуд, содержащий сухой газ, например воздух, при давлении в сто атмосфер, то паров из воды подымается столько же, как в совершенную пустоту. В данном случае частицы водяных паров, испытывая влияние исключительно со стороны подобных им частиц, повидимому, легко могут приблизиться на любое расстояние к частицам воздуха; и если так обстоит дело по отношению к телу, обладающему такими же упругими силами, как и сами пары, то насколько же более несомненно, что так будет обстоять дело в случае частиц, вроде частиц платины или другого граничащего с газом тела, которое не обладает этими упругими силами и при этом и по своей природе не похоже на пары. Итак, казалось бы, что частицы водорода и всякого другого газа или пара, которые оказываются по соседству с платиной и т. п., должны соприкасаться с ней так, как если бы они были в жидком состоянии; следовательно, они должны быть почти в бесконечное число раз ближе к платине, чем друг к другу, если даже предположить, что металл не проявляет по отношению к ним никаких сил притяжения.

628. Третье и очень существенное соображение в пользу взаимодействия газов при таких условиях заключается в их полной смешимости. Если жидкие тела, способные соединяться друг с другом, способны также смешиваться, то при смешивании *они соединяются*, даже в отсутствии каких-либо других благоприятствующих обстоятельств; но если взять вместе два таких газа, как кислород и водород, то хотя сродство этих элементов достаточно сильно, чтобы они соединялись друг с другом естественным

путем при тысяче различных обстоятельств, они все же не соединяются при простом смешивании. А ведь очевидно, что благодаря полному перемешиванию частицы находятся в состоянии, которое наиболее благоприятно для соединения их, если только появится какая-либо содействующая этому причина, как то: отрицательное действие платины, выражающееся как бы в ослаблении или уничтожении упругости газов у прилегающей к ней стороны, или же положительное действие металла в виде конденсации газов на поверхности металла при помощи некоторой силы притяжения или же совместное влияние обоих факторов.

629. Несмотря на то, что существует лишь небольшое число явных случаев соединения под влиянием сил, которые являются внешними по отношению к соединяющимся частицам, их, тем не менее, достаточно для того, чтобы устранить всякие могущие возникнуть с этой стороны затруднения. Сэр Джемс Голл (Hall) нашел, что углекислота и известь под давлением могут оставаться в соединении при таких температурах, при которых это соединение не сохранялось бы при устранении давления; сам я имел случай наблюдать пример непосредственного соединения хлора,¹ который, будучи сжат при обычной температуре, соединяется с водой и образует определенный кристаллический гидрат; последний не мог бы образоваться или существовать при устранении этого давления.

630. В соответствии с вышеизложенным, когда платина действует на кислород и водород и вызывает их соединение, последовательный ход явлений можно представить себе в следующем виде. Под влиянием упомянутых обстоятельств (619 и т. д.), т. е. ослабления упругих сил и притяжения газов металлом, газы, когда они прилегают к металлу, конденсируются настолько, что при существующей температуре начинает проявляться действие сил их взаимного химического сродства; ослабление упругих сил не только подвергает газы более значительному притягивающему влиянию металла, но и приводит их в состоя-

¹ Philosophical Transactions, 1823, стр. 161.

ние, более благоприятное и для соединения, отнимая у них часть той силы (от которой зависит их упругость), которая в остальной массе газов препятствует их соединению. Следствием их соединения является образование паров воды и повышение температуры. Поскольку, однако, притяжение платины по отношению к образовавшейся воде не больше, чем по отношению к газам, и разве что достигает этой величины, так как металл весьма мало гигроскопичен, то пары быстро диффундируют в оставшиеся газы; поэтому в соприкосновение с металлом приходят свежие порции газа, последние вступают в соединение, а вновь образовавшиеся пары также претерпевают диффузию, позволяя новым порциям газа подвергаться действию металла. Таким путем процесс идет вперед, но ускоряется еще выделением тепла, которое, как известно из опыта, облегчает соединение в соответствии со своей интенсивностью; температура, таким образом, постепенно возрастает, пока не наступает воспламенение.

631. Такое объяснение рассеяния создаваемых у поверхности платины паров и соприкосновение с металлом свежих порций кислорода и водорода не вызывает затруднений. Самая платина, по этому представлению, не вступает ни с какими частицами в соединение, а лишь собирает их вокруг себя; сжатые частицы могут так же свободно удаляться от платины и замещаться другими частицами, как и некоторый объем более плотного воздуха на поверхности земли или на дне глубокой шахты может, под действием ничтожнейшего импульса, перемещаться в верхние, более разреженные слои атмосферы.

632. Едва ли необходимо указывать какие-либо причины того, что платина не обнаруживает этого действия при обычных условиях. В этом случае платина недостаточно чиста (617), и газы не могут приходить с ней в соприкосновение и подвергаться ее действию в той степени, которая нужна для того, чтобы их соединение наступило при обычных температурах; такое действие они могут испытывать лишь у ее поверхности. Действительно, та самая сила, которая вызывает соединение

кислорода с водородом, способна, при обычном случайном действии на платину, конденсировать на поверхности последней посторонние вещества, которые загрязняют платину и временно лишают ее способности вызывать соединение кислорода и водорода, не допуская их до соприкосновения с нею (598).

633. Чистая платина (я разумею такую, которая служила положительным полюсом элемента (570) или была обработана кислотой (605), а затем на двенадцать-пятнадцать минут опущена в дистиллированную воду) проявляет особое трение, когда два куска ее трут один о другой. Она легко смачивается чистой водой, если даже ее отряхнуть и высушить над пламенем спиртовой лампы; если взять ее в качестве полюса гальванического элемента в разбавленной кислоте, то она выделяет маленькие пузырьки со всей своей поверхности. В обычном же своем состоянии платина не проявляет этого особого трения; она не смачивается водой так легко, как смачивается чистая платина, и если брать ее в качестве положительного полюса элемента, она в течение некоторого промежутка времени выделяет большие пузырьки, которые, на взгляд, пристают или прилипают к металлу и образуются в отдельных и определенных точках поверхности. Эти внешние признаки и действия, равно как и отсутствие способности соединить кислород и водород, являются следствиями и признаками загрязнения поверхности.

634. Я нашел также, что тщательно очищенные платиновые пластинки быстро загрязняются при одном выставлении их на воздух, ибо по истечении двадцати четырех часов они уже не смачивались так легко водой; жидкость скоплялась местами, оставляя часть поверхности несмоченной; наоборот, другие пластинки, которые были на то же время оставлены в воде, после высушивания (580) смачивались и обнаруживали и остальные признаки чистой поверхности.

635. Так обстояло дело не только с платиной и металлами, но и с горными породами. Горный хрусталь и обсидиан не смачивались на своей поверхности, но, будучи обработаны крепкой кислотой или купоросным маслом, затем промыты и оставлены

в дистиллированной воде для удаления кислоты, легко смачивались, независимо от того, были ли они предварительно высушены или оставлены влажными; но если их высушить и оставить на двадцать четыре часа на воздухе, их поверхность загрязнялась настолько, что вода ее не смачивала, а собиралась отдельными порциями. Вытирание тряпкой (даже самой чистой) действовало еще хуже, чем оставление на воздухе: поверхность как минералов, так и металлов становилась как бы слегка жирной. Способность небольших частиц металла плавать на воде при обычных условиях является следствием такого загрязнения поверхности. Исключительные трудности при очищении однажды загрязненной или засаленной поверхности ртути обусловлены той же причиной.

636. Теми же причинами объясняется, почему эта способность платиновых пластинок быстро исчезает при некоторых условиях, особенно в результате употребления. В случае губчатого металла гг. Дюлонг и Тенар наблюдали тот же самый эффект, как, впрочем, и все те, кто пользовался огнивом Доберейнера. При оставлении пластинок на воздухе, при опускании их в обыкновенную дистиллированную воду, во время действия их на обыкновенный кислород и водород, — во всех случаях они могут обнаружить, что те небольшие загрязнения, которые раз коснулись поверхности платины, ею удерживаются и оказываются достаточными для того, чтобы помешать полному действию платины на кислород и водород при обычных температурах; в свою очередь, небольшого повышения температуры достаточно для того, чтобы компенсировать это действие и вызвать соединение.

637. Нельзя представить себе у твердого тела состояния, более благоприятного для этого действия, чем то, в котором находится платина, полученная путем нагревания из хлороплатината аммония. Она обладает весьма обширной и чистой поверхностью, доступной в то же время для приведенных с ней в соприкосновение газов. Если поместить ее во что-нибудь загрязняющее ее, внутренние части ее, по наблюдениям Тенара и Дюлонга, сохраняются чистыми благодаря защитному дей-

ствию внешних частей; что же касается температуры, то благодаря своему отдельному строению платина является таким плохим проводником тепла, что почти вся теплота, выделяющаяся при соединении первых порций газа, остается внутри ее массы, усиливая стремление к соединению последующих порций.

638. Я должен теперь отметить некоторые весьма необычные обстоятельства, препятствующие этому явлению; они определяются не природой или состоянием металла или другого действующего твердого тела, а присутствием некоторых веществ, примешанных к подвергающимся действию газам; поскольку я часто буду иметь случай говорить о смеси кислорода и водорода, то я хотел бы, чтобы под этим всегда разумелась смесь, составленная из одного объема кислорода и двух объемов водорода, что представляет собой пропорцию, необходимую для образования воды. Во всех случаях, где не делается других оговорок, водород получался действием разбавленной серной кислоты на чистый цинк, а кислород — нагреванием из хлората калия.

639. Смеси кислорода и водорода с *воздухом*, содержащие четверть, половину и даже три четверти последнего, при введении в трубки совместно с обработанными (570, 605) платиновыми пластинками, подвергались действию последних почти так же хорошо, как и в отсутствии воздуха; задержка была значительно меньше того, чего можно было ожидать, учитывая одно лишь разбавление газа и вытекающие отсюда затруднения для соприкосновения газов с пластинками. В течение двух с половиной часов почти весь кислород и водород, введенные в виде смеси, исчезали.

640. Однако, когда подобные же опыты были проделаны с *маслородным газом* (платиновые пластинки служили положительными полюсами гальванического элемента (570) в кислоте), получались совершенно иные результаты. Была составлена смесь из 29,2 объема водорода и 14,6 объема кислорода, что представляет собой пропорцию, требующуюся для образования воды, и к этой смеси была добавлена другая смесь — из трех объемов кислорода и одного объема маслородного газа, так что последний

составлял всего $\frac{1}{48}$ всего объема; тем не менее, в этой смеси платиновая пластина не проявляла действия в течение сорока пяти часов. Неудача была обусловлена не отсутствием какой-либо силы у пластинки, так как, когда по истечении этого времени я вынимал пластинку из данной смеси и помещал ее в смесь кислорода и водорода, она немедленно начинала действовать и, по истечении семи минут, вызывала взрыв газа. Такой результат получался неоднократно, а когда я брал более высокие пропорции маслородного газа, то действие представлялось еще более безнадежным.

641. В смесь, состоящую из сорока девяти объемов кислорода и водорода (638) и одного объема маслородного газа, была введена тщательно обработанная платиновая пластинка. К концу тех двух часов, в течение которых я наблюдал за газами, уменьшение объема его было едва заметно; однако через двадцать четыре часа трубка оказалась разорванной на куски. Таким образом действие, хотя и было сильно задержано, в конце концов все же произошло и достигло максимума.

642. В смеси, состоявшей из девяноста девяти объемов кислорода и водорода (638) и одного объема маслородного газа, слабое действие обнаруживалось по истечении пятидесяти минут; действие шло дальше, ускоряясь (630) до восьмидесяти пятой минуты, и тут становилось настолько сильным, что происходил взрыв газа. Здесь также прекрасно обнаруживается задерживающее действие маслородного газа.

643. Пластинки, обработанные щелочью и кислотой (605), производили действия, аналогичные с только что описанными.

644. Из этих опытов совершенно ясно, что маслородный газ даже в небольших количествах оказывает весьма замечательное влияние, предотвращая при этих условиях соединение кислорода и водорода и, тем не менее, не портя способности платины и не изменяя ее.

645. Другим поразительным примером подобного противодействия может служить окись углерода, особенно по сравнению с угольной кислотой. На смесь одного объема кислорода и водо-

рода (638) с четырьмя объемами угольной кислоты платиновая пластинка, обработанная кислотой и т. п. (605), немедленно оказывала действие, а через час с четвертью почти весь кислород и водород исчезали. Смеси, содержащие меньшее количество угольной кислоты, поддавались этому действию еще легче.

646. Но если угольная кислота заменялась окисью углерода, то не получалось ни малейшего следа соединения газов; когда окись углерода составляла всего одну восьмую часть всего объема, не обнаруживалось никакого действия в течение сорока или пятидесяти часов. Тем не менее пластинки не утрачивали своей способности, так как, вынутые из смеси и опущенные в чистые кислород и водород, они начинали действовать сейчас же и весьма хорошо.

647. Два объема окиси углерода и один объем кислорода были смешаны с девятью объемами кислорода и водорода (638). На эту смесь пластинка, которая была сделана положительной в кислоте, не оказывала действия, хотя и оставалась в смеси пятнадцать часов. Но когда к таким же объемам кислорода и окиси углерода добавлялось тридцать три объема кислорода с водородом, так что окись углерода теперь составляла лишь $\frac{1}{18}$ часть всего объема, пластинка начинала действовать, сначала медленно, по истечении же сорока двух минут наступал взрыв газов.

648. Эти опыты были распространены на различные газы и пары; результаты этих опытов можно формулировать следующим образом: если брать для разбавления смеси кислорода с водородом кислород, водород, азот и закись азота, они не предотвращают действия пластинок даже тогда, когда составляют четыре пятых полного объема подвергаемых действию газов. Ни в одном случае запаздывание не достигало того значения, которого можно было ожидать при учете одного только разбавления смеси кислорода с водородом и вытекающего отсюда механического затруднения для соприкосновения последних с платиной. Угольная кислота и остальные упомянутые вещества, повидимому, располагались в следующем порядке, где менее мешающее вещество стоит впереди: закись азота, водород, уголь-

ная кислота, азот, кислород; возможно однако, что во всех этих случаях предварительная обработка пластинок была произведена с неодинаковой тщательностью, и что прочие условия также не были одинаковы; поэтому для точного установления этого порядка необходимы были бы дальнейшие опыты.

649. Что касается случаев задерживающего действия, то действие в этом отношении маслородного газа и окиси углерода уже были описаны. Смеси кислорода и водорода, содержащие от $\frac{1}{16}$ до $\frac{1}{20}$ сероводорода или же фосфористого водорода, сначала как будто обнаруживали некоторое слабое действие, но в дальнейшем обработанные пластинки не оказывали никакого влияния, хотя и находились в соприкосновении с газами в течение семидесяти часов. По удалении из смеси пластинки оказывались совершенно утратившими способность действовать на чистую смесь кислорода с водородом; следовательно, противодействие указанных газов по природе своей отлично от действия первых двух, так как вызывает в пластинках остающиеся изменения.

650. Небольшой кусок пробки был погружен в сероуглерод и пронесен через воду в трубку, содержащую смесь кислорода и водорода (638), так что часть паров сероуглерода должна была рассеяться среди этих газов. Внесенная в газовую смесь пластинка сначала как будто обнаруживала некоторое действие, однако по истечении шестидесяти одного часа уменьшение объема газов было весьма незначительно. Помещенная в чистую смесь кислорода и водорода та же самая пластинка действовала сразу и сильно, так что, повидимому, она не претерпела никакого уменьшения своей силы.

651. Небольшое количество паров эфира, примешанных к кислороду и водороду, задерживало действие пластины, но полностью его не предотвращало. Небольшое количество паров нефтяного газа,¹ сгущенного в жидкость, задерживало это действие еще сильнее, но все же далеко не так сильно, как такой

¹ Philosophical Transactions, 1825, стр. 440.

же объем маслородного газа. В обоих этих случаях в соединение друг с другом входили исходные кислород и водород, а эфир и нефтяной газ оставались нетронутыми; в обоих случаях пластинки сохраняли способность действовать на свежую смесь кислорода и водорода.

652. Затем вместо пластинок была взята губчатая платина, и на нее в воздухе пускалась струя водорода, к которому примешивались различные газы. Результаты оказались точно такие же, хотя и принимали иногда более внушительный характер. Так, когда опыты начинались при обычных температурах, смесь одного объема маслородного газа или же окиси углерода с тремя объемами водорода не была в состоянии нагреть губчатую платину, а смесь равных объемов азота и водорода действовала очень хорошо, вызывая раскаливание. С угольной кислотой результаты были еще более поразительными. Смесь трех объемов этого газа с одним объемом водорода вызывала раскаливание платины; но при попытке поджечь смесь свечкой у основания струи, она не продолжала гореть. Даже составленная из семи объемов угольной кислоты и одного объема водорода смесь вызывает раскаливание холодной губчатой платины, и как бы для контраста, резче которого нельзя себе представить, она не может загораться от свечи и, напротив, вызывает потухание последней. С другой стороны, смеси окиси углерода или же маслородного газа, которые никак не действуют на платину, воспламеняются от горящей свечи и горят сильно.

653. Водород, смешанный с парами эфира или нефтяного газа, вызывает раскаливание губчатой платины. Смесь с нефтяным газом горит пламенем значительно более ярким, чем пламя смеси водорода с уже упомянутым маслородным газом, так что, повидимому, задерживающее действие углеводородов зависит совсем не от одного только количества присутствующего углерода.

654. В связи с этими вредными действиями я должен отметить, что сам по себе водород, полученный из проходящего над раскаленным железом водяного пара, в смеси с кислородом не поддавался действию платины. Газ оставался над водой в тече-

ние семи дней и утратил всякий неприятный запах, но струя его не вызывала раскаливания губчатой платины при обычных температурах, и он не вступал в соединение с кислородом в трубке ни под влиянием обработанной пластинки, ни под влиянием губчатой платины. Смесь одного объема этого газа с тремя объемами чистого водорода и с надлежащим количеством кислорода не поддавалась действию пластинок по истечении пятидесяти часов. Я склонен приписать это явление присутствию в газе окиси углерода, но не имел времени проверить своего предположения. Способность пластинок [вызывать раскаливание] не разрушалась (640, 646).

655. Таковы основные факты, касающиеся этих замечательных вредных действий. Обусловлены ли эти явления, производимые столь малыми количествами определенных газов, непосредственным действием газа на частицы кислорода и водорода, вследствие которого последние делаются менее склонными к соединению, или же тем, что они вызывают временное (ибо существенного и настоящего изменения в ней не производят) изменение в действии пластинок, обволакивая их благодаря более сильному, чем у водорода, притяжению, или как-либо иначе, — это остается решить более обширными опытами.

656. Мне представляется, что предложенная мною для первичных явлений теория действия вполне удовлетворительно объясняет все действия на основании известных свойств материи и позволяет обойтись без предположения о каком-либо новом свойстве. Я несколько подробнее остановился на этом вопросе, ввиду его большой важности, так как убежден, что поверхностные действия материи — все равно: между двумя телами или одного куска того же тела, а равно действия частиц, не находящихся в непосредственном или устойчивом соединении, с каждым днем приобретают все большее значение для наших теорий в области химии и механики.¹ Очевидно, что во всех обычных случаях горения

¹ Как любопытный пример влияния механических сил на химическое сродство я приведу тот факт, что некоторые тела не выветриваются при наличии совершенно гладкой поверхности, хотя немедленно покрываются

действие рассматриваемого рода, возникающее на поверхности горящего угля, а также в яркой части пламени, должно иметь большое влияние на образование там соединений.

657. Упомянутая выше (626, 627) упругость во внешней части массы газов или паров находится, вероятно, в непосредственной связи с действием на пары твердых тел как центров сгущения, вызывающих конденсацию предпочтительно на этих телах, а не в самой массе паров; в общеизвестном влиянии центров на растворы мы, может быть, имеем дело с подобными же условиями (623), так как между сосуществованием частиц тела в растворе и частиц тела в газообразном или парообразном состоянии существует некоторое сходство. Это соображение приводит нас к рассмотрению того, каковы соответствующие условия на поверхностях соприкосновения двух объемов одного и того же тела при одной и той же температуре, находящихся: один — в твердом или жидком, а другой — в парообразном состоянии, как, например, водяные пары и вода. Казалось бы, что частицы пара по соседству с частицами воды относятся к последней не так, как к любой другой жидкости или твердому телу, как, например, к ртути или платине, при замене ими воды, если только правильна принятая мною точка зрения независимого действия (626, 627), являющаяся следствием принципов Дальтона. Казалось бы так же, что взаимная связь между сходными частицами и существующее между несходными частицами безразличие, которые фактически установлены Дальтоном для газов и паров, до некоторой степени распространяется на твердые тела и жидкости, т. е. на те случаи,

налетом, как только нарушена целость поверхностного слоя. Если кристаллы карбоната, фосфата или сульфата натра с ненарушенной поверхностью предохранять от влияния внешних сил, то они не покрываются налетом. Я таким образом сохранял совершенно прозрачными и неизменными кристаллы карбоната натра с сентября 1827 г. по январь 1833 г., а кристаллы сульфата натра — с мая 1832 г. по настоящее время, т. е. до ноября 1833 г. Если в каком-либо месте поверхности появлялась царапина или разлом, то в этом месте появлялся налет, покрывавший всю поверхность. Кристаллы были помещены в выпаривательную чашку и покрыты бумагой.

когда они находятся в соприкосновении с собственными парами или парами других тел. Однако, хотя я и считаю весьма важными эти вопросы о связи, существующей между различными веществами и их физическим строением в твердом, жидком и газообразном состояниях, но я продумал их недостаточно для того, чтобы осмелиться высказать здесь какое-либо определенное мнение или утверждение. ¹

658. Известно много случаев, когда такие вещества, как кислород и водород, в момент *выделения* действуют легко и вызывают химические изменения, которых они после перехода в газообразное состояние вызывать уже не могут. Такие примеры весьма обычны у полюсов гальванического элемента и, я полагаю, легко поддаются объяснению, если принять во внимание, что в момент отделения каждой такой частицы последняя целиком окружена другими частицами *отличного* от нее типа, с которыми она тесно соприкасается, и что она еще не вступила в те связи и условия, которые она обнаруживает при полном своем развитии и которые она приобретает только тогда, когда объединяется с такими же, как она, частицами. В самом деле, в этот момент упругость частицы отсутствует, и она находится в таком же отношении к частицам, с которыми соприкасается и к которым имеет сродство, в каком находятся между собой частицы кислорода и водорода на поверхности чистой платины (626, 627).

659. Мы видели замечательные явления торможения, вызываемые ничтожными количествами некоторых газов, тогда как большие количества других газов их произвести не могут (640, 645, 652); если эти явления обусловлены каким-либо сродством добавляемых газов с поверхностью твердого тела, то они, вероятно, окажутся тесно связанными с любопытными явлениями, представляемыми различными газами при прохождении через узкие трубки при низком давлении; я наблюдал их много лет

¹ В связи с этим и п. 626, см. поправку, сделанную д-ром Генри в его ценной статье по этому любопытному вопросу. *Philosophical Magazine*, 1835, VI, стр. 365. *Дек. 1838 г.*

тому назад.¹ Я полагаю, что это действие поверхностей оказывает влияние на чрезвычайно интересное явление диффузии газов, по крайней мере в том виде, в котором оно изучалось г. Грэмом (Graham) в 1829 и 1831 гг.,² а также д-ром Митчелом (Mitchel) в Филадельфии в 1830 г.³ Представляется весьма вероятным, что при опытах с таким веществом, как губчатая платина, получился бы закон диффузии газов, отличный от того, который получается при опытах с гипсом.

660. Я намеревался вслед за этой главой поместить главу, посвященную вторичным элементам Риттера и особым свойствам полюсов элемента или металлов, через которые проходило электричество, — свойствам, которые наблюдались гг. Риттером, (Ritter), Ван Марумом (van Marum), Иелином (Jelin), де ля Ривом, Марианини, Берцелиусом и другими. Мне представляется, что все эти явления допускают удовлетворительное объяснение на основании известных принципов, связанное с только что законченными исследованиями, и не требуют предположения о каком-либо новом состоянии или новом свойстве. Поскольку, однако, указанные опыты, а особенно опыты Марианини нуждаются в весьма тщательном повторении и изучении, то, в связи с необходимостью дальнейшего изучения вопросов электрохимического разложения, я вынужден временно отложить только что упомянутые мною исследования.

Королевский институт.

30 ноября 1833 г.

¹ Quarterly Journal of Science, 1819, VII, стр. 106.

² Quarterly Journal of Science, XXVIII, стр. 74: Edinb. Transactions, 1831.

³ Journal of the Royal Institution, 1831, стр. 101.

С Е Д Ъ М А Я С Е Р И Я

*Раздел 11. Об электрохимическом разложении (продолжение).*¹ Предварительные соображения. Глава IV. О некоторых общих условиях электрохимического разложения. Глава V. О новом приборе для измерения гальванического электричества. Глава VI. О первичном или вторичном характере выделяющихся у электродов химических веществ. Глава VII. Об определенной природе и о размерах электрохимического разложения. *Раздел 13. Об абсолютном количестве электричества, связанном с частицами или атомами материи.*

Поступило 9 января.

Доложено 23 января, 6 и 13 февраля 1834 г.

РАЗДЕЛ 11

Об электрохимическом разложении (продолжение)

Предварительные соображения

661. Теория, которую я считаю правильно освещающей факты электрохимического разложения, и которая поэтому подробно изложена мною в одной из предшествующих серий настоящих исследований, настолько противоречит выдвигавшимся ранее теориям, что я встречаю большие затруднения при правильном, с моей точки зрения, изложении результатов, поскольку я должен ограничиваться общепринятыми терминами, которые употребляются во вполне определенном значении. Таков термин *полюс*, с его прилагательными обозначениями *положительный* и *отри-*

¹ См. примечание к п. 1047, восьмая серия. Дек. 1838 г.

цательный, и связанные с ним представления о притяжении и отталкивании. Согласно общепринятой терминологии положительный полюс *притягивает* кислород, кислоты и т. д. или, выражаясь более осторожно, заставляет их выделяться на своей поверхности, а отрицательный полюс точно таким же образом действует на водород, воспламеняющиеся вещества, металлы и основания. С моей же точки зрения, производящая эти явления сила заключена *не* в полюсах, а *внутри* разлагаемого вещества; кислород и кислоты выделяются у *отрицательного* конца этого вещества, а водород, металлы и т. д. — у его *положительного* конца (518, 524).

662. Поэтому, во избежание неясности и неопределенности, а также ради большей точности выражений, чем та, которой я мог бы достигнуть другим путем, я тщательно обсудил этот вопрос с двумя друзьями и в дальнейшем предполагаю применять другие, составленные при их помощи и содействии термины, определение которых я сейчас дам.

Полюсы, как их обычно называют, представляют собой лишь ворота, или пути, через которые электрический ток входит и выходит из разлагаемого вещества (556); соприкасаясь с этим веществом, они, естественно, являются границами его протяжения в направлении тока. Этот термин обычно применялся к металлическим поверхностям, соприкасающимся с разлагаемым веществом; сомнительно, однако же, стали ли бы ученые применять его также к поверхностям воздуха (465, 471) и воды (493), у которых мне удалось производить электрохимическое разложение. Вместо термина полюс я предлагаю применять термин *электрод*,¹ под которым я разумею то вещество или, скорее, ту поверхность — все равно воздуха, воды, металла или какого-либо другого тела, — которая ограничивает протяжение разложения этого вещества в направлении электрического тока.

663. Поверхности, у которых, согласно обычной терминологии, электрический ток входит в разлагаемое вещество и

¹ ἤλεκτρον — янтарь и ὁδός — путь.

из него выходит, являются весьма важными местами действия, и их необходимо отличать от полюсов, с которыми они чаще всего соприкасаются, и от электродов, с которыми они соприкасаются всегда. В поисках естественного указателя электрического направления, которым я мог бы воспользоваться для обозначения поверхностей, — такого, который выражал бы различия между ними и в то же время не зависел бы ни от каких теоретических предпосылок, я полагал, что таким указателем может служить земля. Если магнетизм земли обусловлен обтекающими ее электрическими токами, то последние должны быть, по теперешней терминологии, постоянно направлены с востока на запад, или, что легче запомнить, в направлении кажущегося движения солнца. Если мы примем, что при некотором электро-разложении разлагаемое вещество расположено таким образом, что проходящий через него ток параллелен и одинаково направлен с тем током, который мы предполагаем существующим в земле, то поверхности, у которых электричество входит в это вещество и из него выходит, будут иметь неизменную ориентировку и проявлять постоянное соотношение свойств. На основании этого представления мы предлагаем назвать ту поверхность, которая направлена на восток — *анодом*,¹ а ту, которая направлена на запад, — *катодом*,² какие бы изменения ни претерпевали наши взгляды на природу электричества и электрического действия, они должны отразиться на упомянутом *естественном указателе* в одинаковом направлении и в одинаковой степени, как и на любом разлагаемом веществе, к которому эти термины могут быть применены; а потому, повидимому, нет оснований ожидать, что они приведут к недоразумениям или будут каким-нибудь образом способствовать ложным представлениям. *Анод*, следовательно, есть та поверхность, около которой электрический ток, согласно нашей нынешней терминологии, входит; он представляет собой *отрицательный* конец разлагаемого тела;

¹ ἀνω — вверх и ὁδός — путь; место, где солнце восходит.

² κατὰ — вниз, ὁδός — путь; место, где солнце заходит.

именно около него выделяются кислород, хлор, кислоты и т. д., и он находится около положительного электрода, или, иначе, обращен к нему лицом. *Катод* есть та поверхность, около которой ток покидает разлагаемое тело; он является его *положительным* концом; горючие вещества, металлы, щелочи и основания выделяются около катода, и он находится в соприкосновении с отрицательным электродом.

664. В настоящих исследованиях мне представится случай классифицировать тела также по некоторым соотношениям, выводимыми из их электрических действий (822). Чтобы дать выражение этим соотношениям, не вводя в то же время самым выражением каких-либо гипотетических представлений, я намерен употреблять следующие названия и термины. Многие вещества непосредственно разлагаются электрическим током, причем их элементы освобождаются; эти вещества я предлагаю называть электролитами.¹ Вода, значит, является электролитом. Вещества, которые, подобно азотной и серной кислотам, разлагаются во вторичной реакции (752, 757), не включаются в это понятие. Затем, вместо слова *электрохимически* разложенный, я часто буду употреблять образованный таким же путем термин *электролизированный*, который предполагает, что данное вещество разделяется на свои составляющие под влиянием электричества; этот термин по смыслу и созвучию сходен с термином анализируемый, который образован подобным же путем. Термин *электролитический* понятен без дальнейших пояснений: соляная кислота обладает электролитическими свойствами, борная — не обладает ими.

665. Наконец, мне требуется термин для обозначения тех веществ, которые могут переноситься к *электродам*, или, как их обычно называют, полюсам. Вещества часто называют *электроотрицательными* или *электроположительными*, в зависимости от того, переносятся ли они в результате предполагаемого влияния непосредственного притяжения к положительному или от-

¹ ἤλεκτρον и λύω — растворяю. Отсюда существительное — электролит и глагол — электролизировать.

рицательному полюсу. Однако в эти термины вкладываю слишком много, чтобы пользоваться ими так, как я предполагаю; хотя, может быть, лежащие в их основе представления и правильны, но они являются лишь гипотетическими и могут оказаться ложными, и в этом случае они в силу весьма незаметного, но все же очень опасного влияния — опасного потому, что оно действует непрерывно, — наносят большой ущерб науке, суживая и ограничивая привычные взгляды посвятивших себя науке людей. Я предлагаю различать эти вещества, называя *анионами*¹ те, которые переносятся к *аноду* разлагаемого тела и *катионами* —² те, которые переносятся к *катоду*; когда же мне придется говорить вместе о тех и других, я буду называть их *ионами*. Так, например, хлористый свинец является *электролитом* и выделяет при *электролизе* два иона: хлор и свинец, причем первый является *анионом*, а второй — *катионом*.

666. Если раз навсегда дать точное определение этих терминов, это поможет мне, как я надеюсь, пользуясь ими, избегать многословия и двусмысленности выражений. Я не намерен пользоваться ими чаще, чем это необходимо, так как я вполне отдаю себе отчет, что названия — это одно, а наука — другое.³

667. Следует заметить, что сейчас я не высказываю никаких взглядов на природу электрического тока, кроме тех, которые высказывал ранее (283, 517), и что, если я и говорю, что ток идет от положительного места к отрицательному, то лишь в согласии с традиционным, хотя до некоторой степени молчаливым, соглашением, заключенным между учеными и обеспечивающим им постоянное, ясное и определенное средство для указания направления сил этого тока.⁴

¹ ἀνίων — то, что поднимается (причастие среднего залога).

² κατιών — то, что опускается.

³ С тех пор как была доложена эта работа, я видоизменил некоторые из предложенных первоначально терминов, чтобы пользоваться только такими, которые являются одновременно простыми по своей природе, ясными по смыслу и свободными от гипотез.

⁴ Параграф 668 у Фарадея пропущен. — Ред.

ГЛАВА IV

О некоторых общих условиях электрохимического разложения

669. Начиная с того момента, когда электрохимическое разложение было произведено в первый раз и по настоящее время, наблюдалось, что те элементы, которые при обычных явлениях химического сродства являются наиболее резко противоположными по отношению друг к другу, и при соединении которых сила притяжения оказывалась наибольшей, в то же время с наибольшей легкостью выделяются у противоположных концов разлагаемых тел (549).

670. Если этот вывод был очевиден уже тогда, когда вода считалась существенной и присутствовала почти во всех случаях такого разложения (472), то он становится еще более очевидным теперь, когда показано и доказано, что вода может и не принимать участия в этих явлениях (474), и что имеются вещества, значительно превосходящие воду в отношении некоторых действий, которые считались присущими только этому веществу.

671. Вода, в силу своего строения и характера ее элементов, а также благодаря частому присутствию в электролитических явлениях, до сих пор стояла в этом отношении на первом месте. Хотя вода и представляет собой соединение, образующееся под действием очень сильного сродства, она, тем не менее, отдает свои элементы под влиянием очень слабого электрического тока, и является сомнительным, чтобы мог представиться такой случай электролиза, где участвующая в нем вода не разлагалась бы на свои первоначальные составляющие.

672. Различные окислы, хлориды, иодиды и соли, которые, как я показал, в жидком состоянии разлагаются электрическим током, подчиняясь тому же основному закону, что и вода (402), также убедительно иллюстрируют активность, проявляемую при подобных разложениях теми элементами, которые явно и сильно противоположны друг другу по химическим свойствам.

673. С другой стороны, вещества со слабым химическим сродством распадаются весьма редко. Взять, например, стекла: многие из них, состоящие из кремнекислоты, извести, щелочи и

окси свинца, можно считать не более как растворами одних веществ в других. Если расплавить и подвергнуть действию гальванического элемента бутылочное стекло; то оно, повидному, совсем не разлагается (408). Если подвергнуть такому же действию флинтглас, который содержит более противоположные друг другу вещества, то он претерпевает некоторое разложение; а если произвести опыт над борно-свинцовым стеклом, которое представляет собой определенное химическое соединение, то оно легко отдает свои элементы (408).

674. Однако же результат, который бросается в глаза в приведенных случаях, совсем не подтверждается другими примерами, где можно было ожидать подобных же последствий. Согласно моей собственной теории электрохимического разложения, следовало бы ожидать, что под влиянием электрического тока все сложные химические соединения будут распадаться с легкостью, которая соответствует силе химического сродства между их элементами как более, так и менее близкими. Я не уверен в том, что именно это непременно следует из теории, но если мне скажут, что возражение вытекает из фактов, то я отвечу: не сомневаюсь в том, что оно исчезнет при более близком знакомстве и точном представлении о природе химического сродства и о характере действия на него электрического тока (518, 524); а кроме того, ко всякой другой теории электрохимического разложения может быть приложено такое же возражение и в той же мере, как и к той, которая выдвинута мною. В самом деле, если допустить, что вещества соединяются тем более интенсивно, чем они более противоположны друг другу в отношении их сил притяжения, как это обычно и имеет место, то это возражение в такой же мере применимо ко всем рассмотренным теориям электролиза и еще подкрепляет те возражения, которые выдвинуты мною против них ранее.

675. Среди устойчивых, не подвергающихся разложению соединений на первом месте стоит борная кислота (408). Далее, не разлагаются при обычных условиях иодид серы и хлориды серы, фосфора и углерода, хотя характер составляющих их элементов

и заставляет ожидать обратного. Химическое средство, под влиянием которого образуются хлорид сурьмы (402, 690), углеводороды, уксусная кислота, аммиак и многие другие, не разлагаемые гальваническим элементом вещества, повидимому, достаточно сильно, и это должно было бы указывать на то, что элементы настолько противоположны по своей природе, что можно ожидать разделения их гальваническим элементом, — тем более, что это разделение имеет место в некоторых случаях простого растворения (530, 544), где средство должно быть сравнительно слабо.¹

676. Не следует, однако, забывать, что большинство этих затруднений, а может быть и все они могут зависеть от отсутствия проводимости; если последняя отсутствует, то это препятствует прохождению тока и, естественно, предотвращает производимые им действия. Все известные химические соединения, являющиеся непроводящими в твердом, но проводящими в жидком состоянии, разлагаются, за единственным, может быть, исключением периодида ртути (679, 691);² и даже вода, которая с такой легкостью отдает составляющие ее элементы при прохождении тока, почти не претерпевает изменения, если она вполне очищена, так как становится при этом очень плохим проводником.

677. Если в дальнейшем будет доказано, что отсутствие разложения в тех случаях, где на основании химических соображений можно было его ожидать (669, 672, 674), обусловлено отсутствием или недостатком проводимости, то одновременно будет доказано также и то, что разложение *находится в зависимости* от проводимости, а не наоборот (413); для случая воды этот вопрос, повидимому, является почти решенным. С другой стороны, почти неоспоримо заключение, что в электролитах способность переносить электричество через вещество *обусловлена их спо-*

¹ Что касается растворения, то у меня появились некоторые основания считать, что это явление, может быть, и не является причиной переноса вещества, и я намерен при удобном случае вернуться к рассмотрению этого вопроса.

² См. пп. 1340, 1341. Дек. 1838 г.

способностью претерпевать разложение, ибо, перенос имеет место только в то время, пока идет процесс разложения вещества, и пропорционален количеству выделенных элементов (821). Однако в настоящее время я не могу задерживаться на обсуждении экспериментальной стороны этого вопроса.

678. Когда химическое соединение содержит такие элементы, о которых мы знаем, что они направляются к противоположным концам гальванической батареи, то количество, в котором они там присутствуют, повидимому, всегда тесно связано со способностью этого соединения подвергаться разложению или же ему противостоять. Так, протохлорид олова легко проводит ток и разлагается (402), а перхлорид не проводит тока и не разлагается (406). Протоиодид олова в жидком состоянии разлагается (402), а периодид не разлагается. Периодид ртути в расплавленном состоянии не разлагается (691), хотя и является проводником. Мне не удалось сопоставить это соединение с протоиодидом, так как последний при нагревании разлагается на ртуть и периодид ртути.

679. Эти существенные различия заставили меня поближе рассмотреть некоторые бинарные соединения с целью проверить, нельзя ли установить закон, управляющий *разложимостью* в соответствии с весовыми *отношениями* или *эквивалентами элементов*. Среди только что упомянутых соединений, разложимыми являлись только прото-соединения; если же обратиться к веществам, приводившимся для иллюстрации значения и общности открытого мною закона проводимости и разложения (402), то окажется, что все подчиняющиеся ему окислы, хлориды и иодиды, за исключением хлорида сурьмы и периодида ртути (к которым теперь, пожалуй, можно добавить сулему), являются также разложимыми, и наоборот, многие высшие соединения тех же элементов, не подчиняющиеся этому закону, оказываются неразложимыми (405, 406).

680. Наиболее резкое исключение из этого общего вывода представляют такие вещества, как кислоты: серная, фосфорная, азотная, мышьяковая и др.

681. При опытах с серной кислотой у меня не было оснований предполагать, чтобы сама по себе она являлась проводником электричества или разлагалась последним, хотя раньше я и придерживался такого мнения (552). Крепкая кислота является значительно худшим проводником, чем разбавленная.¹ Если в последнем случае подвергнуть ее действию мощной батареи, то кислород появляется у *анода*, или положительного электрода, хотя значительная часть его поглощается (728), а водород и сера появляются у *катода*, или отрицательного электрода. Водород у меня всегда был чистый, свободный от серы и оказывался в количестве, недостаточном по расчету на присутствующую серу, так что очевидно, что во время разложения должна была разлагаться вода. Я пытался произвести опыт с безводной серной кислотой, и мне показалось, что в расплавленном состоянии такая кислота не является проводником и не разлагается. Однако я не располагал достаточным количеством сухой кислоты для того, чтобы удовлетворительно разрешить этот вопрос. Я полагаю, что когда при действии гальванического элемента на серную кислоту появляется сера, то это есть результат вторичного действия, а сама по себе кислота не подвержена электролизу (757).

682. То же самое, я полагаю, относится и к фосфорной кислоте, но решить этот вопрос было невозможно из-за трудностей обращения с расплавленной безводной фосфорной кислотой. Раз получивши воду, фосфорная кислота не может быть освобождена от нее одним нагреванием. При нагревании водная кислота улетучивается. Расплавленная в проволочной петельке фосфорная кислота (401), подвергнутая действию гальванического прибора, становилась проводящей и разлагалась. Но у отрицательного электрода всегда выделялся газ, который, по моему мнению, представлял собой водород, и провод не подвергался химическому изменению, как это имело бы место при выделении фосфора. У положительного электрода также выделялся газ. На основа-

¹ Де ля Рив.

нии всех этих фактов я заключаю, что разлагалась вода, а не кислота.

683. Мышьяковая кислота. Это вещество проводило ток и разлагалось; но оно содержало воду, а у меня не было тогда времени *продлить* исследование, чтобы проверить, можно ли получить плавкую безводную мышьяковую кислоту. Таким образом эта последняя к настоящему моменту не является исключением из общего правила.

684. Азотистая кислота, полученная отгонкой из нитрата свинца над крепкой серной кислотой, оказалась проводящей ток и медленно разлагалась. Однако при ближайшем рассмотрении выявились сильные доводы в пользу предположения, что в ней присутствовала вода, которой и были обусловлены разложение и проводимость. Я пытался приготовить порцию совершенно безводной кислоты, но не располагал временем, необходимым для получения не возбуждающих сомнения результатов.

685. Азотная кислота представляет собой вещество, которое, по моему мнению, непосредственно электрическим током не разлагается. Так как мне факты эти понадобятся для иллюстрации различия, существующего между первичным и вторичным разложениями, то здесь я только упомяну о них (752).

686. То обстоятельство, что вышеупомянутые минеральные кислоты облегчают проводимость и разложение воды, еще не доказывает, что они могут способствовать этим действиям и претерпевать их в себе самих. Борная кислота действует так же, хотя и является неразложимой. Г-н де ля Рив указал, что и хлор обладает этой способностью; но поскольку хлор мы считаем элементарным веществом, то эту способность нельзя отнести за счет его разложимости.

687. Хлорид серы не проводит тока и не разлагается. Входящие в него элементы находятся в отношении один к одному, но это не значит, что он представляет собой исключение из правила (679), которое вовсе не утверждает, что *все* соединения с таким отношением входящих в них элементов являются разложимыми, а только то, что все разложимые вещества обладают таким составом.

688. Протохлорид фосфора не проводит и не разлагается.

689. Протохлорид углерода не проводит и не претерпевает разложения. Наряду с этим веществом я подвергал действию электрического тока гидрoхлорид углерода, полученный из маслородного газа и хлора, однако это вещество также не проводило электричества и не отдавало своих элементов.

690. Что касается исключений (679), то при более близком рассмотрении некоторые из них отпадают. Свежеприготовленный хлорид сурьмы (соединение из одного эквивалента сурьмы и полутора эквивалентов хлора) был помещен в трубку (рис. 61)

и в расплавленном состоянии подвергнут действию тока, причем положительный электрод был графитовый. Электричество не проходило, и видимых проявлений разложения сначала не было; однако, при сильном сближении положительного и отрицательного электродов в хлориде сурьмы возникало слабое действие и проходил слабый ток. Весь эффект был настолько ничтожен (хотя и вполне соответствовал приведенному выше закону (394)) и настолько непохож на разложение и проводимость, возникающие во всех других случаях, что я его припи-

сываю присутствию ничтожного количества воды (последнюю этот и многие другие хлориды жадно поглощают, образуя гидратированные хлориды) или, может быть, присутствию чистого протохлорида, отвечающего отношению (695, 796) один к одному.

691. При изучении таким же образом периодида ртути было вполне определенно установлено, что последний является изолятором в твердом и проводником в жидком состоянии, в согласии с законом *проводимости в жидком состоянии* (402); однако никаких признаков разложения не было. Не появлялось ни иода у *анода*, ни ртути или иного вещества у *катода*. Этот случай, следовательно, не представляет собой исключения из правила, согласно которому разложимыми являются только соединения, отвечающие отношению один к одному; но случай этот представляет исключение — и, я полагаю, единственное — из того поло-



Рис. 61.

жения, что все вещества, подчиняющиеся закону проводимости в жидком состоянии, являются разложимыми. Я, однако, склоняюсь к предположению, что в периодиде ртути оставалось растворенным небольшое количество протохлорида ртути, медленным разложением которого и обусловлена обнаруживаемая слабая проводимость. У анода в результате вторичного процесса образовался бы тогда периодид ртути, а ртуть у катоды также могла, путем вторичного процесса, давать протоиодид ртути. Оба эти вещества могли смешиваться с жидкой массой, и, таким образом, несмотря на продолжавшееся разложение, окончательного разделения не было бы.

692. Перхлорид ртути, подвергнутый действию гальванического тока, не проводил в твердом и проводил в жидком состоянии. Я полагаю также, что в последнем случае он разлагался; однако в этом случае имеется целый ряд посторонних явлений, которые необходимо исследовать, прежде чем делать какое-либо определенное заключение.

693. Когда подвергается действию гальванического тока обыкновенный протоксид сурьмы в расплавленном состоянии, он также разлагается, хотя по другим причинам (402, 801); действие это скоро прекращается. Этот окисел состоит из одного эквивалента сурьмы и полутора эквивалентов кислорода и является поэтому исключением из принятого общего правила. Однако, работая с этим окислом и с хлоридом, я наблюдал факты, которые заронили во мне подозрение, не содержат ли часто соединения, обычно называемые протохлоридами и протоксидами, других соединений, отвечающих отношению один к одному; последние тогда являются чистыми прото-соединениями и, присутствуя в окисле, могут вызывать вышеописанное разложение.

694. Обыкновенная сернистая сурьма считается соединением, содержащим наименьшее количество серы и аналогичным по составу обыкновенному протоксиду. Однако я нашел, что при

1 Что касается перхлорида и периодида ртути, см. пп. 1340, 1341. Дек. 1838 г.

расплавлении ее с металлической сурьмой образуется другое сернистое соединение, содержащее значительно больше металла, чем первое, и при расплавлении отчетливо отделяющееся как от чистого металла, так и, с другой стороны, от обыкновенного серого сернистого соединения сурьмы. В некоторых грубых опытах количество металла, поглощаемого таким образом обыкновенной сернистой сурьмой, было равно половине того, которое содержалось раньше в сернистом соединении, а в таком случае новое соединение должно отвечать отношению *один к одному*.

695. Когда это новое сернистое соединение растворялось в соляной кислоте, то, правда, выделялось немного сурьмы, но мне все же казалось, что получался настоящий протохлорид сурьмы, отвечающий отношению *один к одному*; и из него с помощью щелочей и т. д. можно получить настоящий протоксид, отвечающий также отношению один на один. Однако я не имел времени строго проверить это обстоятельство анализом.

696. Я полагаю, однако, что такой окисел существует, что он часто присутствует в переменных отношениях в том, что обыкновенно называется протоксидом, создавая неопределенность в результатах анализа последнего и вызывая вышеописанное разложение.¹

697. В общем представляется вероятным, что все те двойные соединения, которые, в соответствии с законом проводимости в жидком виде (394), способны подвергаться электролизу в жидком и не способны к этому в твердом состоянии, состоят из элементарных составных частей, взятых в отношении один к одному. Возможно, что борная кислота, аммиак, перхлориды, периодиды и многие другие простые соединения элементов являются неразложимыми именно вследствие их отступления от такого простого состава.

¹ В связи с этим и тремя предыдущими, а также с 801-м параграфом, — см. поправку Берцелиуса относительно природы предполагаемого нового сернистого соединения и окиси: *Philosophical Magazine*, 1836, VIII, стр. 476. Что касается вероятного объяснения действий, полученных с протоксидом, см. пп. 1340, 1341. *Дек. 1838 г.*

698. Что касается солей и соединений сложных тел, то здесь эти простые отношения, повидимому, не имеют силы. Я не мог решить этого вопроса при помощи бисульфатов щелочей, так как каждый раз, как в соединении оставался второй эквивалент кислоты, с ней оставалась и вода. Расплавленные соли оказывались проводящими и разлагались, но у отрицательного электрода всегда появлялся водород.

699. Я приготовил нагреванием и плавлением аммоний-фосфата натра бифосфат натра. В этом случае расплавленная двойная соль проводила электричество и разлагалась, но у отрицательного электрода появлялось небольшое количество газа; и хотя я и полагаю, что электролизу подвергалась самая соль, но все же не вполне уверен в том, что совершенно отсутствовала вода.

700. Затем был изготовлен биборат натра, который, по моему мнению, представляет собой бесспорный случай. По расплавлении соль оказалась проводящей; она разлагалась, и у обоих электродов появлялся газ; даже в том случае, когда содержание борной кислоты было повышено до трех эквивалентов, имело место то же явление.

701. Итак, этот класс сложных химических соединений, повидимому, не подчиняется тому простому закону, которому подчиняются двойные соединения первого типа. Может быть, их можно считать просто растворами соединений, отвечающих отношению один к одному, в избытке кислоты. Но найдется ли для такого предположения достаточно оснований, это вопрос, решение которого надо предоставить будущим исследованиям. Несколько бесспорных исключений мы имеем среди сернистых соединений.

702. При каждом исследовании таких вопросов следует принимать все возможные меры предосторожности для удаления воды, так как в ее присутствии настолько часто происходят вторичные действия, что нередко получается ошибочное впечатление о наличии электроразложения в веществе, когда в действительности такого явления нет (742 и т. д.).

703. Очевидно, что во всех тех случаях, в которых разложение *не возникает*, это *может быть* обусловлено недостаточной проводимостью (677, 413). Однако это вовсе не умаляет того интереса, который возникает у нас при виде огромного различия в действии, зависящего от изменения не самой природы элементов, а лишь их соотношений. Особенно интересно это при всякого рода попытках объяснить и истолковать предложенную сэром Гемфри Дэви¹ и развитую далее Берцелиусом и другими выдающимися учеными прекрасную теорию, по которой обычное химическое сродство является лишь следствием электрических притяжений между частицами вещества.

ГЛАВА V

О новом приборе для измерения гальванического электричества

704. Когда я пытался установить общую меру для обыкновенного и гальванического электричества (377), и еще раз, когда я предлагал свою теорию электрохимического разложения (504, 505, 510), я уже указывал, что химически разлагающее действие тока является *постоянным при постоянном количестве* электричества, несмотря на самые большие изменения источников электричества, напряжения последнего, размеров служащих для опыта *электродов*, характера проводников (или непроводников) (307), через которые электричество проходит, и других условий. Решающие доказательства справедливости этого утверждения будут даны далее (783 и т. д.).

705. На основе этого закона я решил построить прибор для измерения проходящего через него электричества, чтобы он, будучи включен в цепь тока при любом частном опыте, служил по желанию либо для *сравнительной* оценки действия, либо для *положительного измерения* этого тончайшего агента.

706. Нет вещества, которое при обычных условиях было бы более пригодно в качестве индикатора в таком приборе, чем вода.

¹ Philosophical Transactions, 1807, стр. 32, 39, а также 1826, стр. 387, 389.

В самом деле, если увеличить ее проводимость добавлением кислот или солей, то вода легко разлагается; ее элементы во многих случаях могут быть получены и собраны без помех со стороны вторичного действия; будучи газообразными, они представляют наилучшие условия для своего разделения и измерения. Поэтому подкисленная серной кислотой вода является тем веществом, к которому я буду обычно прибегать, хотя в особых случаях или при особых видах опытов может оказаться целесообразным пользоваться другими веществами (843).

707. Первая предосторожность, необходимая при постройке



Рис. 62.

этого прибора, заключалась в том, чтобы избежать обратного воссоединения выделившихся газов, которое, как было установлено, легко имеет место у положительного электрода (571). С этой целью для разложения применялись приборы различного устройства. Прибор первого рода состоял из прямых трубок, содержащих каждая платиновые пластинку и проволоку, спаянные золотом и укрепленные в стекле на закрытом конце

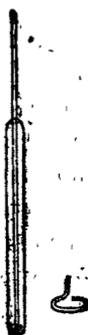


Рис. 63.

трубки (рис. 62). Трубки были градуированы, имели в длину приблизительно восемь дюймов, а в диаметре — 0,7 дюйма. Платиновые пластинки были приблизительно в один дюйм длиною и такой ширины, какую только позволяли размеры трубок; они были установлены настолько близко к отверстиям последних, насколько это было совместимо с надежным улавливанием выделяющихся газов. В некоторых случаях, когда требовалось по возможности уменьшить ту поверхность, на которой выделяются газы, металлические окончания состояли не из пластинок, а из согнутой в виде кольца проволоки (рис. 63). Когда эти трубки служили для измерений, их наполняли разбавленной серной кислотой, опрокидывали в сосуд с той же жидкостью (рис. 64) и помещали в наклонном положении, рас-

полагая их открытые концы близко друг к другу, чтобы между ними находилось как можно меньше разлагаемого вещества; при этом платиновые пластинки находились в вертикальных плоскостях (720).

708. На рис. 64 изображен прибор другого типа. Трубка в середине изогнута, один конец ее закрыт, и в этом конце укреплены провод и пластинка *a*, опущенная вниз настолько, чтобы она в положении, изображенном на рисунке, оказывалась возможно



Рис. 64.

ближе к изгибу трубки; это сделано для того, чтобы весь выделяющийся у пластинки газ мог собираться в закрытом конце трубки. Плоскость этой пластинки также вертикальна (720). Другой металлический конец *b* вводится в тот момент, когда должно быть произведено разложение, и подводится возможно ближе к изгибу трубки, но так, чтобы выделяющийся у него газ совершенно не попадал в закрытый конец прибора. Выделяющемуся у этого конца газу дают уйти в воздух.

709. В приборе третьего типа оба электрода заключены в одной и той же трубке; таким образом перенос электричества и обусловленное этим разложение происходят значительно быстрее, чем в отдельных трубках. Образующийся газ представляет собой сумму тех количеств, которые выделяются у обоих электродов, и прибор этот лучше всех предыдущих приспособлен для изме-

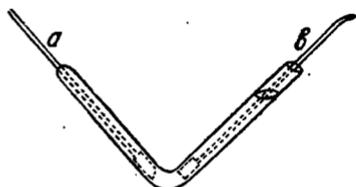


Рис. 65.

рения количеств гальванического электричества, переносимого в обычных случаях. Прибор состоит из прямой градуированной, закрытой на верхнем конце трубки (рис. 66), через стенки которой проходят платиновые проволочки (впаянные в стекло), которые соединены с находящимися внутри двумя пластинками. Трубка шлифована к одному из горлышек двугорлой склянки.

Если последнюю наполовину или на две трети наполнить разбавленной серной кислотой (706) и затем наклонять весь прибор, то кислота будет протекать в трубку и наполнит ее. При пропускании через прибор электрического тока выделяющиеся у пластинки газы собираются в верхней части трубки и не подвергаются воссоединяющему действию платины.

710. Прибор еще другого устройства представлен на рис. 67.

711. Прибор пятого типа изображен на рис. 68. Этот последний я нашел исключительно пригодным для опытов, продолжающихся непрерывно в течение нескольких дней, когда надо было собрать большие количества служащего для измерения газа. Прибор укреплен на тяжелом основании и имеет вид небольшой реторты, содержащей оба электрода; горлышко ее узко и достаточно длинно для того, чтобы выходящий из нее газ переходил в сосуд, помещенный над небольшой пневматической ванной. Электродная камера, герметически запаянная в той части, которая укреплена на стойке, имеет пять дюймов в длину и 0,6 дюйма в диаметре;

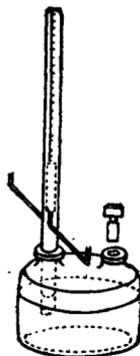


Рис. 66.

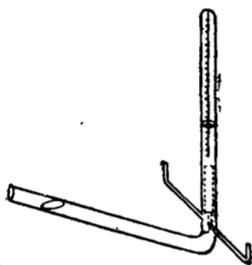


Рис. 67.

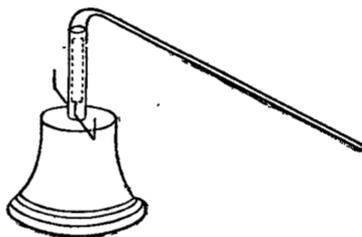


Рис. 68.

длина горлышка равна приблизительно девяти дюймам, а внутренний диаметр его — 0,4 дюйма. Рисунок дает полное представление о конструкции.

712. Едва ли приходится указывать, что при пользовании прибором любого из этих типов как самые приборы, так и провода, соединяющие их с тем веществом, которое одновременно подвергается действию того же самого электрического тока, должны быть тщательно изолированы; иначе не будет уверенности в том, что все электричество, которое проходит через одно вещество, будет пропускаться и через другое.

713. Наряду с предосторожностями, которые приходилось принимать, чтобы улавливаемые газы, когда они смешаны, не соприкасались с платиной, возникала необходимость проверить, по крайней мере для воды, закон *определенности электролитического действия* при самых разнообразных условиях; чтобы вместе с уверенностью в его правильности ознакомиться также с источниками ошибок, против которых приходится принимать меры предосторожности на практике.

714. Прежде всего был исследован вопрос о том, оказывает ли влияние или безразлично изменение в широких пределах размеров электродов; для этого служили приборы, подобные описанным выше (709, 710, 711). Пластинки одного из них имели в ширину 0,7 дюйма, а в длину почти четыре дюйма; другой имел пластинки шириной всего в 0,5 дюйма и длиной в 0,8 дюйма, проволочки третьего были в три дюйма длиной и в 0,02 дюйма диаметром, а в четвертом такие же проволочки были длиной только в полдюйма. Тем не менее, когда эти приборы были наполнены разбавленной серной кислотой и соединены последовательно, так что через них проходил один и тот же ток электричества, то во всех них выделилось почти одинаковое количество газа; иногда получалась разница в пользу одного или другого прибора, но в основном результаты сводились к тому, что наибольшее количество газов выделялось на самых маленьких электродах, именно на тех, которые состояли из одних только платиновых проволочек.

715. Подобные же опыты были произведены с прямыми трубками, содержащими по одной пластинке (707), а также с изогну-

тремя трубками (708); результаты были одинаковы. Когда те и другие располагались различным образом вместе с прежними трубками и проверялось равенство действия больших и малых металлических поверхностей, то, если они отдавали и получали один и тот же ток электричества, результат неизменно получался одинаковый. В виде примера приводим следующие числовые данные. Прибор с двумя проволочками выделял 74,3 объема смешанных газов; другой прибор с пластинками выделял 73,25 объема; сумма кислорода и водорода в двух отдельных трубках составляла 73,65 объемов. В другом опыте эти объемы равнялись 55,3; 55,3 и 54,4.

716. Однако в этих опытах наблюдалось, что в трубках с одной пластинкой (707) водорода у отрицательного электрода выделялось больше, чем это соответствовало количеству кислорода у положительного электрода, и обычно также больше, чем это соответствовало количеству кислорода и водорода в трубке с двумя пластинками. При более внимательном изучении этих явлений я пришел к убеждению, что они, равно как и различия между проволочками и пластинками (714), обусловлены растворимостью газов, особенно у положительного электрода.

717. Когда у положительного и отрицательного электрода поверхности одинаковы, то пузырьки, поднимающиеся от них в разбавленной серной кислоте, всегда различны по характеру. Пузырьки от положительной пластинки чрезвычайно малы и отделяются мгновенно со всех участков поверхности металла ввиду его идеальной чистоты (633); вследствие своей многочисленности и малости они придают жидкости мутный вид, легко отходят вниз течением и, таким образом, не только представляют значительно большую поверхность соприкосновения с жидкостью, чем более крупные пузырьки, но и остаются в смеси с ней в течение значительно более продолжительного времени. В то же время пузырьки у отрицательной поверхности значительно менее многочисленны, хотя их объем и превосходит объем газа у положительного электрода вдвое. Они не поднимаются сплошь со всей поверхности, а как бы берут начало в отдельных точках;

несмотря на то, что они много крупнее, они как бы прилипают к металлу, отделяясь от него с трудом, а, отделившись, мгновенно поднимаются к поверхности жидкости. Поэтому, если бы даже кислород и водород обладали одинаковой растворимостью в воде или одинаковой способностью соединяться с ней при одинаковых обстоятельствах, то все же при имеющихся условиях кислород был бы значительно более способен растворяться; если же добавить к этому известное свойство кислорода вступать с водой в соединение, то не будет удивительным, что такое соединение будет в небольших количествах получаться у положительного электрода; и в самом деле, отбеливающая способность, которую некоторые ученые наблюдали в растворе у этого электрода при тщательном устранении хлора и подобных ему веществ, вероятно, обусловлена образованием там таким путем перекиси водорода.

718. То обстоятельство, что в опытах с проволочками накоплялось газа больше, чем в опытах с пластинками, я приписываю тому, что, поскольку в равные промежутки времени выделялось равное количество газа, постольку около проволочек пузырьки образуются быстрее, чем у остальных частей поверхности и потому должны были быть значительно крупнее; поэтому они обладали значительно меньшей поверхностью соприкосновения с жидкостью и соприкасались с ней в течение гораздо более короткого промежутка времени, чем пузырьки у пластинок; отсюда меньшее растворение и большее количество собранного газа.

719. Наблюдалось также, особенно при больших электродах, и другое явление, которое являлось следствием, а вместе с тем и доказательством растворения части образовавшегося газа. При исследовании собранного газа было найдено, что в нем содержится небольшое количество азота. Это я приписываю присутствию в служившей для разложения кислоте растворенного воздуха. Известно, что когда пузырьки газа, лишь слегка растворимого в воде или в растворах, проходят через них, то та часть газа, которая растворяется, вытесняет часть того, который раньше был соединен с жидкостью, и таким образом в рассматриваемых примерах разложения кислород, поскольку он растворяется,

вытесняет часть воздуха или, по крайней мере, азота, соединившегося ранее с кислотой; это явление наблюдается в *очень больших размерах* при больших пластинках, потому что выделяющийся у них газ находится в условиях, особенно благоприятных для растворения.

720. Чтобы избежать, насколько возможно, этого растворения газов, я располагал разлагающие пластинки вертикально (707, 708), чтобы пузырьки могли быстро уходить кверху, и чтобы нисходящие потоки в жидкости не встречались с восходящими потоками газов. Я нашел, что такая предосторожность сильно способствует получению постоянных результатов, особенно в приводимых далее опытах, в которых я пользовался не разбавленной серной кислотой, а другими жидкостями, как, например, раствором поташа.

721. Неточность в показаниях предлагаемого прибора, притекающая от только что упомянутой растворимости газов, лишь незначительна и может быть целиком исправлена сравнением результатов двух или трех опытов. Можно также почти совершенно устранить неточность, выбрав такой раствор, который меньше всего ей благоприятствует (728), или еще, собирая и применяя в качестве индикатора один водород, так как он менее растворим, чем кислород, выделяется с вдвое большей скоростью и более крупными пузырьками, а потому может быть собран более полно и в более чистом виде.

722. Из предшествующих и многих других опытов следует, что изменение в размерах электродов не влечет за собой изменений в химическом действии на воду данного количества электричества.

723. Следующим фактором, в отношении которого был проверен принцип постоянства электрохимического действия, было изменение напряжения. Прежде всего были повторены предыдущие опыты, но при этом брались батареи хотя с *одним и тем же* числом пластин, но заряженные *сильно или слабо*; однако результаты получались одинаковые. Затем опыты были повто-

рены с батареями, содержащими иногда сорок, а иногда только пять пар пластин, но результаты и теперь получались одинаковые. Следовательно, *изменения напряжения*, обусловленные различием в силе заряда или в числе взятых для опыта пар, *не вызывали изменений, т. е. действие больших и малых электродов оставалось одинаковым.*

724. Однако эти результаты еще не доказывают, что изменение напряжения тока не сопровождалось соответствующим изменением электрохимических действий, так как действие могло усиливаться и ослабевать у всех поверхностей одновременно. Но этот пробел в доказательстве прекрасно восполняется предыдущими опытами с электродами различных размеров, так как при изменении последних должно получаться изменение напряжения. Если проводники, по которым проходит ток, одинаковы по природе, качеству и длине, то напряжение тока, вероятно, пропорционально количеству электричества, проходящему через данное, перпендикулярное току, сечение проводника, деленному на время (360, примечание). Поэтому, когда мы сравниваем большие пластинки и проволоки, отделенные друг от друга одним и тем же самым разлагаемым проводником одинаковой длины (714), и когда через оба прибора проходит один и тот же ток электричества, это электричество между пластинками и между проволоками должно находиться в весьма различных состояниях в отношении *напряжения*; тем не менее, химические результаты были одинаковы.

725. Различие в напряжении при описанных условиях можно легко показать на опыте, если взять два прибора для разложения, расположить их, как показано на рис. 69, и подвергать в них одну и ту же жидкость разлагающему действию одного и того же тока электричества; этот ток проходит тогда в сосуде *A* между большими платиновыми пластинками, а в сосуде *B* — между маленькими проволочками. Если к проводам *a* и *b* рис. 69 присоединить третий прибор для разложения, вроде изображенного на рис. 68 (711), то степень возникающего в нем разложения будет давать достаточно хорошие указания о том,

каково относительное состояние двух пластинок в смысле их напряжения. Если затем таким же образом присоединить этот прибор к проводам a' и b' , чтобы ознакомиться с их состоянием, то по усилению разложения в приборе мы увидим, насколько напряжение в этом случае больше, чем между точками a и b . Соединения точек P и N с гальванической батареей должны, конечно, сохраняться все время.

726. Третье видоизменение опыта, в котором для проверки принципа равенства химического действия, я также добивался различия напряжения, заключалось в том, что три вольта-электромметра располагались таким образом, что электрический ток, пройдя через один из них, разветвлялся на две части, каждая из которых проходила через один из оставшихся приборов, а затем разветвленные токи вновь соединялись. Сумма продуктов разложения в обоих последних сосудах всегда была равна количеству вещества, разложенного в первом сосуде. *Напряжение же разветвленного тока не могло быть таким же, как в первоначальном состоянии, а, следовательно, изменение напряжения не оказывает влияния на результаты, если количество электричества остается одинаковым.* Этот опыт в сущности сводится просто к увеличению размеров электродов (725).

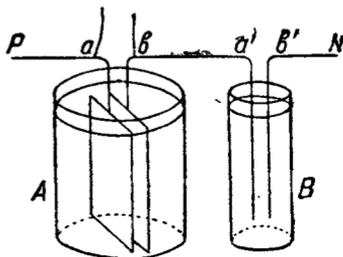


Рис. 69.

727. Третьим фактором, в отношении которого был проверен принцип равенства электрохимического действия, скажем, воды, было *изменение крепости раствора*, которым я пользовался. Для сообщения воде проводимости, к ней добавлялась серная кислота (707); казалось вполне правдоподобным, что эта последняя, наравне со многими другими веществами, сможет повысить разложимость воды, если количество электричества останется постоянным. Это, однако, не подтвердилось. Разбавленная серная

кислота различной крепости вводилась в различные приборы для разложения и подвергалась одновременно действию одного и того же электрического тока (714). Как и ранее, наблюдались небольшие отклонения то в ту, то в другую сторону, но в окончательном результате *одно и то же количество электричества во всех растворах разлагало в точности одно и то же количество воды*, хотя в некоторых растворах количество серной кислоты было в семьдесят раз больше, чем в других. Крепость, которой я пользовался, соответствовала удельному весу 1,495 и ниже.

728. При кислоте с удельным весом около 1,336 получались очень однородные результаты и весьма постоянное отношение между количествами кислорода и водорода (716). Под действием одного и того же тока такая кислота давала газа больше, чем более разбавленная, — повидимому, потому, что она обладала меньшей растворяющей способностью. При очень крепкой кислоте наблюдалось заметное исчезновение кислорода; так, кислота, приготовленная смешиванием двух частей крепкого купоросного масла и одной части воды, давала сорок два объема водорода и всего двенадцать объемов кислорода. Количество водорода очень близко подходило к тому, которое выделялось из кислоты с удельным весом 1,232. У меня еще не было времени подробно изучить обстоятельства, сопровождающие в этом случае исчезновение кислорода, но мне кажется, что оно объясняется образованием перекиси водорода, чему, как показал Тенар, благоприятствует присутствие кислоты.

729. Хотя для практического применения описываемого мною прибора это и не являлось необходимым, но так как это было связано с важным вопросом о постоянстве электрохимического действия на воду, то я исследовал затем действия, производимые электрическим током при прохождении через водные растворы кислот, солей и соединений, сильно отличающихся друг от друга по своей природе, и нашел, что они дают изумительно однородные результаты. Впрочем, многие результаты — те, которые связаны с вторичным действием, — будет более полезно описать позже (778).

730. При действии электрического тока на растворы едкого кали или натра, сульфата магнeзии или натра, из них выделялось почти столько же водорода и кислорода, сколько из разбавленной серной кислоты, с которой производилось сравнение. При опытах с раствором аммиака, проводимость которого увеличивалась прибавлением сульфата аммония (554), а также в опытах с раствором субкарбоната кали *водород* выделялся в таком же количестве, как из разбавленной серной кислоты, с которой эти вещества сравнивались. Следовательно, *изменения в природе раствора не нарушают постоянства электрохимического действия на воду.*

731. По вопросу о больших и малых электродах я уже указывал, что изменение в порядке их расположения не меняет основного результата (715). Так же обстояло дело с различными растворами и при различных напряжениях, и результаты опыта, независимо от изменения его условий, оказывались чрезвычайно согласными, подтверждая этим, что электрохимическое действие было все то же.

732. Я считаю, что предыдущее исследование в достаточной степени доказывает чрезвычайно важный принцип в отношении воды, а именно, что *количество воды, разложенной под влиянием электрического тока, в точности пропорционально количеству прошедшего электричества*, несмотря на изменение на тысячи ладов тех обстоятельств и условий, в которые вода в данный момент поставлена; и далее, что если приняты меры против вредного влияния известных вторичных действий (742 и т. д.), против растворения или же обратного соединения газов и выделения воздуха, *то продукты разложения могут быть собраны с такой точностью, что дают превосходное и ценное средство для измерения электричества, участвующего в их выделении.*

733. Из приведенных мною типов приборов, изображенные на рис. 66, 67 и 68 (709, 710, 711), вероятно, окажутся наиболее пригодными и полезными, так как объем газов, которым они указывают количество электричества, имеет наибольшую величину, и так как они представляют наименьшее препятствие про-

хождению тока. В отношении жидкостей мой опыт заставляет предпочесть серную кислоту с удельным весом, примерно, в 1,336 или от 1,336 до 1,25; но весьма существенно, чтобы в ней не было органических веществ, каких-либо растительных кислот и других тел, которые могут взаимодействовать с выделяющимися у электродов кислородом и водородом (773 и т. д.) и тем вызвать уменьшение их количества или добавить к ним другие газы.

734. Во многих случаях, когда прибор служит в качестве *сравнительного* или даже в качестве *измерительного*, может оказаться желательным собирать только водород, так как он менее кислорода подвержен поглощению или исчезновению другими путями, и в то же время его объем настолько велик, что делает его хорошим и чувствительным индикатором. В таких случаях я пользовался приборами первого и второго типов — рис. 64, 65 (707, 708). Даваемые ими показания были весьма постоянны, и отклонения получались значительно меньше, чем в приборах тех типов, в которых собирают оба газа. Подобные показания могут быть получены в сравнительных опытах с такими растворами, которые не выделяют кислорода или же выделяют лишь продукты его вторичного действия; но эти же растворы не могут дать показаний, если собирать продукты, выделяющиеся у обоих электродов. Так обстоит дело при пользовании растворами аммиака, соляной кислоты, хлоридов и иодидов солей, уксусной и других растительных кислот и т. п.

735. В небольшом числе случаев, как, например, при действии на соли тяжелых металлов, которые легко восстанавливаются у отрицательного электрода, в качестве индикатора можно с успехом пользоваться кислородом. Это справедливо, например, для сульфата меди.

736. Таким образом имеется два основных типа прибора, которые я предлагаю для измерения количества электричества: в одном улавливаются оба газа, получающиеся от разложения воды (709, 710, 711), а в другом собирается только один газ, например водород (707, 708). При пользовании прибором для *сравнительных* измерений (я буду в дальнейшем пользоваться им

весьма широко) прибегать во время наблюдений к специальным предосторожностям приходится редко; если же пользоваться им для *абсолютных измерений*, то необходимо принимать в расчет барометрическое давление и температуру, а также озаботиться, чтобы градуировка приборов была однородна. Для этой цели можно пользоваться сотыми и более мелкими долями кубического дюйма, и сотую долю очень удобно назвать одним *градусом* электричества.

737. Едва ли необходимо описывать способ пользования прибором более подробно, чем это уже сделано. Его следует включить в цепь того электрического тока, действие которого должно проявляться в другом месте, и измерить в один (а если требуется, в несколько) приемов 60° — 70° электричества; этот ток, независимо от силы, надо поддерживать до тех пор, пока газ в трубке не займет указанное количество делений, т. е. сотых долей кубического дюйма. Далее, если нужно измерить количество электричества, способное произвести определенное действие, то надо получить это действие, а затем произвести отсчет. При точных опытах в полученную величину объема газа необходимо ввести поправку на изменение температуры, давления и, особенно, влажности.¹ В этом отношении изображенный на рис. 68 вольт-электрометр является наиболее точным, так как в нем газ может быть измерен над водой, тогда как в остальных приборах он находится над кислотой или растворами солей.

738. Я, не колеблясь, ввел термин *градус* (736) по аналогии с применением его по отношению к другому весьма важному невесомому агенту, а именно — к теплу; и подобно тому как там использовано определенное расширение воздуха, воды, ртути и т. п. для измерения тепла, так здесь столь же определенное выделение газов служит для той же цели в отношении электричества.

739. Этот прибор представляет собой единственный *действительный измеритель* гальванического электричества, какой в на-

¹ Я беру на себя смелость указать мои «*Chemical Manipulation*», 1830, стр. 376 в качестве простой таблицы поправок на влажность.

стоящее время имеется в нашем распоряжении. В самом деле, на него не оказывают никакого влияния ни время, ни изменения напряжения или самого тока, какого бы они ни были характера и происхождения; даже перерывы действия на него не влияют, и поэтому он в точности отмечает прошедшее через него количество электричества и дает его в результате простого отсчета. Поэтому я назвал его *вольта-электрометром*.

740. Во многих случаях для измерения гальванического электричества можно с успехом пользоваться другим способом, основанным на измерении количества металлов или других веществ, выделившихся в качестве первичных или вторичных продуктов разложения. Я не стану, однако, подробнее останавливаться на таком использовании этих продуктов, покуда не будут полностью установлены те принципы, на которых основано их постоянство (791, 843).

741. С помощью указанного прибора мне удалось установить определенность электрохимического действия в наиболее общем смысле этого слова, и я убежден, что это обстоятельство окажется чрезвычайно полезным при том развитии науки, которое вызвано будет этими взглядами. Я не претендую на то, что изучил электрохимическое действие во всех его деталях, и думаю лишь, что доказал правильность самого принципа и выгоду его применения.¹

ГЛАВА VI

О первичном или вторичном характере выделяющихся у электродов химических веществ

742. Прежде чем стало возможным применить *вольта-электрометр* для установления *общего закона* постоянства электро-разложения, оказалось необходимым исследовать уже ранее обна-

¹ Еще в 1811 г. гг. Гей-Люссак (Gay Lussac) и Тенар применяли химическое разложение для измерения электричества гальванического элемента. См. *Recherches physico-chimiques*, стр. 12. Правила и предосторожности, при наличии которых это измерение становится точным, тогда, конечно, были неизвестны. Дек. 1838 г.

руженное учеными различие между продуктами этого действия, а именно: их первичный или вторичный характер, а также по возможности установить с помощью какого-либо правила или принципа, когда они носят тот или другой характер. В дальнейшем будет показано, что смешение этих двух типов продуктов разложения приводило к большим ошибкам в отношении электрохимического действия и его последствий.

743. Когда разлагаемое вещество выделяет у электродов неизменными и не вступившими в новые соединения те вещества, на которые оно распалось под влиянием электрического тока, то их можно считать первичными продуктами, даже если сами они являются сложными телами. Так, кислород и водород представляют собой первичные продукты разложения воды, и таковы же кислота и щелочь (сами по себе сложные тела), выделяющиеся из сульфата натра. Когда же разделенные токами вещества перед своим выделением претерпевают у электродов изменение, тогда они дают начало вторичным продуктам, хотя во многих случаях выделяющиеся тела представляют собой элементы.

744. Эти вторичные продукты образуются двумя путями: иногда в результате взаимодействия между выделившимся веществом и материалом электрода, а иногда — вследствие действия первого на вещества, заключенные в самом разлагаемом теле. Так, в том случае, когда положительным электродом служит уголь в разбавленной серной кислоте, около него вместо кислорода иногда появляются окись углерода и угольная кислота, так как кислород, действуя на вещество электрода, образует эти вторичные продукты. Другой пример: если положительным электродом служит платина в растворе нитрата или ацетата свинца, то около нее появляется перекись свинца, являющаяся в такой же мере вторичным продуктом, но-образующаяся в данном случае действием кислорода на вещество в растворе. Далее, при разложении аммиака с помощью платиновых электродов, у *анода*¹ появляется азот, который, хотя и является *простым*

¹ Annales de Chimie, 1804, LI, стр. 167.

веществом, но в данном случае представляет собой вторичный продукт, будучи результатом химического действия электрически выделенного кислорода на аммиак в *окружающем растворе* (554). Точно так же при разложении током водных растворов солей металлов, выделяющиеся у *катода* металлы, хотя и являются элементами, но *всегда* представляют собой вторичные продукты, а не непосредственные результаты разлагающей способности электрического тока.

745. Многие из этих вторичных продуктов являются крайне ценными; таковы, например, все те интересные соединения, которые с помощью слабых токов получал г. Беккерель (Becquerel); однако все они по существу химического происхождения, и в теории электролитического действия их необходимо тщательно отличать от тех веществ, которые образуются непосредственным действием электрического тока.

746. Природа выделившихся веществ часто приводит к правильному суждению об их первичном или вторичном характере, но одной ее недостаточно для решения данного вопроса. Так, например, утверждают, что азот притягивается иногда положительным, а иногда отрицательным электродом, в зависимости от того, с каким веществом он соединен (554, 555); в таких случаях его, очевидно, считают первичным продуктом,¹ но я рассчитываю показать, что выделенный у положительного электрода, или, вернее, *анода*, он является вторичным продуктом (748). Таким же образом сэр Гемфри Дэви,² а с ним и большинство химиков (включая и меня) появление у отрицательного электрода меди, свинца, олова, серебра, золота и т. п. под действием гальванического тока на водные растворы этих элементов приводили в качестве *доказательства того*, что все металлы притягиваются этой поверхностью, тем самым предполагая, что в каждом из этих случаев металл является первичным продуктом. Однако я надеюсь доказать, что все они представляют собой вто-

¹ Annales de Chimie, 1804, LI, стр. 172.

² Elements of Chemical Philosophy, стр. 144, 161.

ричные продукты и являются просто результатами химического действия, отнюдь не доказывая существования притяжения, а также высказанного относительно их месторасположения закона.¹

747. Однако, если мы обратимся к закону *постоянства электрохимического действия*, который уже доказан для воды (732) и который я надеюсь удовлетворительным образом распространить на все вещества (821), и если будем иметь в виду не только *природу* освобождающихся веществ, но и их *количества*, то, вообще говоря, можно составить себе правильное суждение о первичном или вторичном характере продуктов разложения. Это чрезвычайно важный вопрос, столь существенный для теории электролиза, ибо он устанавливает, какие частицы находятся под непосредственным влиянием электрического тока (в отличие от тех, которые не поддаются влиянию последнего), и каких результатов разложения можно ожидать, — этот вопрос может быть решен таким образом с достаточной степенью определенности, что освободит эту отрасль знания от бесчисленных двусмысленностей и сомнительных рассуждений.

748. Применим эти положения к случаю аммиака и к предполагаемому тяготению азота к тому или другому *электроду* (555, 554). Чистый крепкий раствор аммиака является столь же плохим проводником и так же мало подвержен электролизу, как и чистая вода. Но если в нем растворен сульфат аммония, то все вместе становится проводящим; у анода выделяется азот, почти чистый, а иногда и совершенно чистый, а у катода — водород; отношение объемов первого ко второму колеблется, составляя приблизительно от 1 : 3 до 1 : 4. Отсюда, на первый взгляд,

¹ Замечательно, что вплоть до 1804 г. было принято мнение, что металлы восстанавливаются под влиянием водорода в момент выделения. В этом году этот взгляд был опровергнут Гизингером (Hisinger) и Берцелиусом (Berzelius. *Annales de Chimie*, LI, стр. 174), которые установили, что металлы выделяются непосредственно электричеством, с каковым мнением с тех пор, повидимому, согласился и Дэви (*Philosophical Transactions*, 1826, стр. 388).

казалось бы, что электрический ток вызвал разложение аммиака и направил азот к положительному электроду. Однако когда с помощью вольта-электрометра (707, 736) было измерено количество прошедшего электричества, то оказалось, что количество водорода точно соответствовало тому, что дало бы разложение воды; для азота же нельзя было установить определенного или постоянного соотношения. С увеличением числа опытов было обнаружено, что, взяв более крепкий или более слабый раствор или более или менее сильную батарею, мы находим, что выделяющийся около *анода* газ представляет собой смесь кислорода и азота, меняющуюся как по абсолютному количеству, так и по своему относительному составу, в то время как количество водорода у *катода* остается неизменным; и тогда не оставалось места для сомнения в том, что азот у *анода* является вторичным продуктом, зависящим от химического действия на находящийся в растворе аммиак кислорода в момент выделения, — кислорода, направляемого к этой поверхности электрическим током. Таким образом электролизу подверглась вода, а не аммиак. Далее, опыт не дает фактических указаний на стремление элемента азота к тому или другому электроду; мне не известны также никакие опыты с азотной кислотой или другими соединениями азота, которые бы указывали на стремление этого элемента перемещаться под влиянием электрического тока вдоль его пути в том или другом направлении.

749. В качестве еще одной иллюстрации образования вторичных продуктов можно привести действие электрического тока на раствор ацетата кали. Когда я брал очень крепкий раствор, у *анода* газ выделялся в большем количестве, чем у *катода*, примерно в отношении четырех к трем, причем газ у *анода* представлял собой смесь окиси углерода и угольной кислоты, а газ у *катода* — чистый водород. При значительно более слабом растворе, у *анода* газа выделялось меньше, чем у *катода*; кроме окиси углерода и угольной кислоты, он теперь содержал углеводороды. Это образование углеводородов у положительного электрода является совершенно аномальным, если рассматри-

вать его как непосредственное следствие разлагающей способности тока. Но это вещество, подобно окиси углерода и угольной кислоте, представляет собой только *вторичный продукт*, так как разложение претерпевает одна лишь вода, а те вещества, которые в конечном итоге появляются у электрода, создаются кислородом, освобождающимся у *анода* и действующим на искусственную кислоту, в среде которой он выделяется. Это полностью подтверждено опытами с вольта-электрометром (707); в самом деле, в этом случае масса водорода, выделившегося у *катода* из ацетата, всегда оказывается определенной, в точности соответствующей количеству прошедшего через раствор электричества и в точности равной количеству водорода, выделяющегося в самом вольта-электрометре. Появление у положительного электрода углерода в соединении с водородом и отсутствие его у отрицательного электрода представляет любопытный контраст с теми результатами, которых можно было бы ожидать, исходя из принимаемого обычно закона, указывающего место элементов в конце опыта.

750. Если находящаяся в растворе соль представляет собой ацетат свинца, то продукты разложения у обоих электродов оказываются вторичными и не могут служить для оценки и определения суммарного электрохимического действия, разве что косвенным образом (843). Вместо кислорода, и даже вместо упомянутых выше газов (749), у положительного электрода в этом случае появляется перекись свинца, а у отрицательного — просто свинец. При опытах с другими растворами солей тяжелых металлов, например с растворами, содержащими перекиси — скажем, меди — в соединении с той или другой способной разлагаться кислотой, получаются еще более сложные продукты. Если рассматривать выделяющиеся вещества как непосредственные продукты электрохимического действия, то в их соотношениях наблюдается полная путаница. Если же считать их вторичными продуктами, то они представляются вполне простыми и согласными, а по своим соотношениям соответствуют кислороду и водороду, выделяющимся из воды под действием определенного количества электричества:

751. Я подвергал опыту множество веществ с целью определить, являются ли продукты их разложения первичными или вторичными, и был поражен, какое большое число в обычных случаях принадлежит последнему классу, и как часто, когда считают, что распадаются другие вещества, единственным претерпевшим электролиз веществом является вода. Некоторые из этих выводов я приведу сколь возможно кратко.

752. А з о т н а я к и с л о т а. Очень крепкая кислота проводила хорошо и выделяла у положительного электрода кислород. У отрицательного электрода газа не появлялось, но здесь шло образование азотистой кислоты и, повидимому, окиси азота, которая, растворяясь, окрашивала кислоту в желтый или красный цвет и, в конце концов, вызывала ее вскипание в результате спонтанного выделения двуокиси азота. При разбавлении кислоты равным или большим объемом воды у отрицательного электрода появлялся газ. Количество его можно было изменять, изменяя либо крепость кислоты, либо силу гальванического тока; действительно, кислота, от которой при слабой батарее газ у *катода* не выделялся, при более сильной батарее выделяла газ; равным образом батарея, которая не выделяла газа у *катода* в случае применения крепкой кислоты, вызывала его выделение из кислоты более разбавленной. Газ у *анода* всегда представлял собой кислород, а у *катода* — водород. При измерении продуктов разложения с помощью вольт-электрометра (707) оказывалось, что как из крепкой, так и из слабой кислоты водород получался в таком же относительном количестве, как из воды. И в том случае, когда кислота была разбавлена до удельного веса 1,24 и меньше, водород также получался в том же количестве, как из воды. Отсюда я заключаю, что электролиз претерпевает не азотная кислота, а одна лишь вода, что кислород у *анода* всегда представляет собой первичный продукт, но что продукты разложения у *катода* часто являются вторичными и образуются действием водорода на азотную кислоту.

753. С е л и т р а. Раствор этой соли дает весьма разнообразные результаты в зависимости от формы трубки и от размеров

электродов. Иногда у отрицательного электрода можно собрать, весь водород из разложенной воды, иногда же, вследствие быстрого образования вторичных продуктов, — только часть его. Раствор является прекрасным проводником электричества.

754. Н и т р а т а м м о н и я в водном растворе дает начало образованию вторичных продуктов, очень разнообразных и неопределенных по составу.

755. С е р н и с т а я к и с л о т а. Чистая, жидкая сернистая кислота не проводит гальванического тока¹ и не распадается под влиянием его, но если растворить ее в воде, то раствор становится проводящим и разлагается, выделяя кислород у *анода* и водород и серу у *катода*.

756. Раствор, содержащий, кроме сернистой, также и серную кислоту, представляет собой несколько лучший проводник. Он давал у каждого электрода очень небольшое количество газа, причем газ у *анода* оказывался кислородом, а у *катода* — чистым водородом. От *катода*, кроме того, поднималась белая мутная струя, состоящая из серы во взвешенном состоянии, так что вскоре весь раствор делался похожим на молоко. Не наблюдалось никакого правильного отношения между объемами газов и теми количествами, которые выделялись из воды в вольтамetre. Я прихожу к заключению, что во всех этих случаях электрический ток не оказывал никакого влияния на сернистую кислоту, и что единственным веществом, претерпевавшим разложение, являлась присутствующая вода; что у *анода* полученный из воды кислород превращал сернистую кислоту в серную, а у *катода* выделившийся под действием электрического тока водород разлагал сернистую кислоту, соединяясь с ее кислородом и освобождая ее серу. Я заключаю, что сера у отрицательного электрода являлась лишь вторичным продуктом; и действительно, когда для опыта брались слабые растворы сернистой кислоты, сера совсем не соединялась с тем небольшим количеством водорода, который в этом случае уходил в воздух.

¹ См. также де ля Рив. *Bibliothèque Universelle*, XL, стр. 205, или *Quarterly Journal of Science*, XXVII, стр. 407.

757. **С е р н а я к и с л о т а.** Я уже приводил свои основания в пользу того, что серная кислота не подвержена электролизу, т. е. что она непосредственно не разлагается электрическим током, но иногда подвергается вторичным действиям со стороны выделяющегося у *катода* водорода (681). В 1800 г. Дэви высказывал мнение, что сера, получающаяся из серной кислоты, является результатом действия водорода в момент выделения.¹ В 1804 г. Гизингер и Берцелиус установили, что она является непосредственным результатом действия гальванического элемента,² — мнение, к которому с того времени, повидимому, присоединился и Дэви, и которое с тех пор стало общепринятым. Ввиду того, что и я изменил свое мнение, мне следует внести поправку в то, что мною уже говорилось о разложении серной кислоты в одной из предыдущих серий настоящих «Исследований» (552). В настоящее время я не думаю, чтобы появление серы у отрицательного электрода являлось непосредственным следствием электролитического действия.

758. **С о л я н а я к и с л о т а.** Крепкий раствор давал водород у отрицательного электрода и один только хлор у положительного; часть последнего действовала на платину, а часть растворялась. Оставались небольшие пузырьки газа: это был не кислород, а, по всей вероятности, находившийся ранее в растворе воздух.

759. Важно было определить, являлся ли хлор первичным результатом или же только вторичным продуктом, происшедшим вследствие действия выделившегося из воды у *анода* кислорода на соляную кислоту, т. е. подвержена ли соляная кислота электролизу, и если это так, то являлось ли это разложение *определенным*.

760. Соляная кислота постепенно разбавлялась. Одна часть кислоты с шестью частями воды давала у *анода* только хлор. Одна часть кислоты с восемью частями воды выделяла только

¹ Nicholson's Quarterly Journal, IV, стр. 280, 281.

² Annales de Chimie, 1804, LI, стр. 173.

хлор; при девяти частях воды вместе с хлором появлялось немного кислорода, но присутствие или отсутствие кислорода при этих разбавлениях зависело частью от силы, взятой для опыта батареи. При пятнадцати частях воды у *анода* выделялось немного кислорода с большим количеством хлора. Так как теперь раствор стал уже плохим проводником, то к нему была добавлена серная кислота; это вызвало более быстрое разложение, но заметно не изменяло относительных количеств хлора и кислорода.

761. После этого к соляной кислоте был добавлен стократный объем разбавленной серной кислоты. Все же она выделяла у *анода* большое количество хлора, смешанного с кислородом, и результат оставался одинаковым, независимо от того, из скольких пар состояла батарея: из 40 или же всего из 5 пар пластин. При кислоте такого разбавления отношение объемов выделявшегося у *анода* и *катода* кислорода и водорода было равно 17 : 64, и таким образом хлора должно бы оказаться 30 объемов, если бы он не растворялся в жидкости.

762. Теперь по вопросу о количестве выделяющихся элементов: с помощью вольта-электрометра было найдено, что независимо от того, бралась ли для опыта самая крепкая или самая слабая кислота и появлялся ли у *анода* один хлор или же хлор, смешанный с кислородом, — все равно, количество выделившегося у *катода* водорода оставалось постоянным, т. е. тем же самым, что и количество водорода, которое было выделено тем же самым количеством электричества из воды.

763. Это постоянство не дает указания на то, подвергается ли соляная кислота электролизу или нет, хотя и доказывает, что если подвергается, то обязательно в определенном количественном отношении с подействовавшим количеством электричества. Для решения этого вопроса можно, однако, привлечь другие соображения. Аналогия между хлором и кислородом в их отношении к водороду настолько велика, что создает почти уверенность, что в соединении с этим элементом они в процессе электроразложения будут вести себя одинаково. Оба они соеди-

няются с водородом в отношении один на один или в эквивалентных отношениях, а так как количество эквивалентов находится, по видимому, в тесной и важной связи с разложимостью вещества (697), то соотношение составляющих в соляной кислоте, так же как и в воде, является наиболее благоприятным или, пожалуй, даже необходимым для разложения. И в случае других двойных соединений хлора, где нет той неопределенности, которая вызывается одновременным наличием хлора и кислорода, хлор под действием электрического тока также выделяется непосредственно у *анода*. Так обстоит дело в случае хлорида свинца (395), который всецело можно сравнить с протоксидом свинца (402), и который находится в таком же отношении к нему, как соляная кислота к воде. Хлориды калия, натрия, бария и т. д. находятся в таком же отношении к протоксидам тех же металлов и под влиянием электрического тока дают такие же результаты (402).

764. На основании всех этих опытов, равно как и приведенных выше соображений, я прихожу к заключению, что соляная кислота разлагается под непосредственным влиянием тока, и что количество выделяющихся продуктов разложения, а, следовательно, и химическое действие определенного количества электричества является вполне определенным. В самом деле, хотя я не собирал и не измерял хлор у *анода* отдельно, однако не может быть сомнений в том, что количество его пропорционально водороду у *катода*, и таким образом результаты оказываются достаточными для того, чтобы установить общий закон *постоянства электрохимического действия* и для случая соляной кислоты.

765. Я прихожу к заключению, что в разбавленной кислоте (761) часть воды претерпевает электрохимическое разложение, обуславливая выделение кислорода, который и появляется у *анода* в смеси с хлором. Кислород можно рассматривать и как вторичный продукт, но я склонен полагать, что это не так, потому что в таком случае можно было бы ожидать, что более крепкая кислота дает его в более значительных количествах; на деле же наблюдается обратное. Это соображение, совместно

с другими, также приводит меня к заключению, что солимины кислота разлагается электрическим током с большей легкостью, чем вода, так как при разбавлении восьми- или девятикратным количеством этой жидкости распадается все же одна кислота, а вода остается неразложенной.

766. Хлориды. При растворах хлоридов в воде, как, например, хлорида натрия или кальция, выделение хлора имело место только у положительного электрода, а у отрицательного электрода выделялся водород с окислами основания, скажем, натра и извести. Процесс разложения можно рассматривать как протекающий двумя или тремя путями, которые все приводят к одним и тем же результатам. Может быть проще всего принимать, что веществом, претерпевающим электролиз, является хлорид, причем входящий в его состав хлор стремится к *аноду* и выделяется у него, тогда как металл переходит к *катоду*, где, не встречая более хлора, он действует на воду, образуя в результате вторичной реакции водород и окисел. Поскольку дальнейшее обсуждение отвлекло бы меня от более существенных вопросов и не представляет непосредственного интереса, я в настоящий момент от него воздержусь. *Весьма важно*, однако, установить, что, пользуясь вольта-электрометром, я в обоих случаях получал определенное количество водорода; если эти результаты и не доказывают определенности разложения хлоридов (что будет доказано в другом месте — 789, 794, 814), то они ни в малейшей степени не противоречат этому заключению и являются подкреплением *общего закона*.

767. Иодисто-водородная кислота. Действие на раствор кислоты было одинаково с действием на соляную кислоту. Когда она была крепкая, у отрицательного электрода выделялся водород в определенном отношении к количеству прошедшего электричества, т. е. в том же количестве, в каком он был бы выделен тем же самым током из воды; у положительного электрода выделялся иод без всяких следов кислорода. Когда же кислота была разбавленная, у *анода* вместе с иодом появлялись небольшие количества кислорода; количество водорода у *катода* не менялось.

768. По причинам, приведенным ранее для соляной кислоты, (763, 764), я полагаю, что кислота в этом случае разлагается непосредственно.

769. И о д и д ы. Когда действию гальванического тока был подвергнут раствор иодида калия, то у положительного электрода появлялся иод (без всяких следов кислорода), а у отрицательного электрода — водород и свободная щелочь. В отношении характера разложения в этом случае можно привести те же замечания, которые были высказаны по поводу растворов хлоридов (766).

770. Ф т о р и с т о - в о д о р о д н а я к и с л о т а и ф т о р и д ы. Раствор фтористо-водородной кислоты не обнаружил признаков разложения под влиянием электрического тока; распалась, повидимому, вода. Расплавленные фториды претерпевали разложение, но так как при этом я получил в свободном состоянии фтор, то я полагаю, что лучше отложить вопрос до одной из дальнейших серий настоящих «Исследований», где я предполагаю дать более полный отчет о полученных результатах, чем это уместно здесь.¹

771. С и н и л ь н а я к и с л о т а в растворе является очень плохим проводником. У *катода* выделяется водород в вполне определенном количестве, равном тому, которое получается из воды; в то же время у *анода* выделялось небольшое количество кислорода, и, повидимому, имело место образование раствора синерода. Это действие в точности соответствовало действию на разбавленную соляную и иодисто-водородную кислоты. Когда я увеличивал проводимость синильной кислоты с помощью серной кислоты, получались такие же результаты.

Ц и а н и д ы. С раствором цианида калия получались точно такие же результаты, как с хлоридами и иодидами. У положительного электрода кислорода не выделялось, а появлял-

¹ Я не получил фтора при более строгом рассмотрении; мои ожидания, доходившие до полной уверенности, одно за другим отпадали; были получены некоторые весьма странные результаты, и об одном из них я упоминаю в п. 1340. Дек. 1838 г.

ся бурый раствор. По тем же причинам, которые были приведены для хлоридов (766), а также потому, что расплавленный цианид калия выделяет у положительного электрода¹ синерод, и склонен полагать, что цианид в растворе разлагается *непосредственно*.

772. Железисто-синеродистая кислота и железисто-синеродистые соли, так же как и сульфо-цианистая кислота и сульфо-цианиды, дали результаты, соответствующие только что описанным (771).

773. Уксусная кислота. Ледяная уксусная кислота, будучи расплавлена, не проводит электричества и не разлагается им. При добавлении к ней небольшого количества воды, никаких признаков действия все же не оказывалось; при добавлении большего количества воды она медленно действовала, и притом приблизительно так же, как чистая вода. Чтобы увеличить проводимость уксусной кислоты, к ней была добавлена разбавленная серная кислота; в этом случае у *катода* выделялось определенное количество водорода, а у *анода* — смесь кислорода, в относительно весьма малом количестве, с угольной кислотой, и немного окиси углерода. Отсюда явствует, что уксусная кислота не подвергается электролизу, но часть ее разлагается выделяющимся у *анода* кислородом, вызывающим образование вторичных продуктов, изменяющихся в зависимости от крепости кислоты, напряжения тока и других обстоятельств.

774. Ацетаты. Относительно одного из них уже говорилось в связи с уксусной кислотой: что она дает только вторичные продукты разложения (749). Для очень многих ацетатов металлов продукты разложения у обоих электродов являются вторичными (746, 750).

¹ Странно наблюдать, как в этом случае углерод и азот сильно стремятся к положительному полюсу гальванической батареи; однако это находится в полном согласии с выдвинутой мною теорией электрохимического разложения.

Плавленный и безводный ацетат натрия, являясь, как я полагаю, истинным электролитом, разлагается непосредственно и выделяет у *катода* и *анода* натр и уксусную кислоту. Однако существование их весьма непродолжительно, и они немедленно дают другие вещества; причем у катода выделяются древесный уголь, гидрид натрия и т. д. и, насколько я мог судить при этих условиях, смесь уксусной кислоты с окисью углерода, угольной кислотой и т. п. у анода.

775. **Виннокаменная кислота.** Чистый раствор виннокаменной кислоты является почти таким же плохим проводником, как и чистая вода. При добавлении серной кислоты виннокаменная кислота проводила хорошо, причем продукты разложения у положительного электрода являлись первичными или вторичными в различных пропорциях, в соответствии с изменениями крепости кислоты и мощности электрического тока (752). Щелочные тартраты давали большие количества вторичных продуктов у положительного электрода. Количество водорода у отрицательного электрода оставалось неизменным, если только опыты не производились с некоторыми тройными слоями металлов.

776. Затем один за другим были подвергнуты электролитическому действию гальванического тока растворы солей, содержащих другие растительные кислоты, как, например, соли бензойной кислоты, растворы сахара, смолы и т. п. в разведенной серной кислоте; растворы канифоли, белковых веществ и т. п. в щелочах. Во всех этих случаях у положительного электрода в большем или меньшем количестве получались вторичные продукты.

777. Заканчивая этот отдел настоящих исследований, невольно приходишь к мысли, что окончательные продукты действия электрического тока на помещенные между электродами вещества не всегда просты, а напротив, иногда весьма сложны. Эти вещества могут быть разлагаемы двояким образом: либо непосредственно действием электрического тока, либо под действием веществ, которые выделены этим током. Существует также два

способа образования новых соединений, а именно: путем непосредственно соединения выделяющихся веществ с веществами электродов в момент их выделения (658) или же путем их соединения с теми веществами, которые, входя в состав претерпевшего разложение тела или будучи связаны с ним, по этой причине обязательно присутствуют у *анода* и *катода*. Сложность еще усугубляется тем обстоятельством, что могут одновременно возникать два и более этих действий и в разных количественных отношениях друг с другом. Однако она может быть в значительной мере распутана с помощью приведенных выше правил (747).

778. При *водных* растворах веществ вторичные продукты разложения встречаются крайне часто. Даже тогда, когда вода присутствует не в большом количестве, а только в соединении, все же часто образуются вторичные продукты; очень возможно, например, что в разложении гидратов кали и натра, произведенном сэром Гемфри Дэви, часть полученного калия является результатом вторичного действия. Это является также частой причиной исчезновения кислорода и водорода, которые выделялись бы при других условиях; и когда в *водном растворе* водород *не* появляется у *катода*, то это, пожалуй, всегда указывает на то, что имело место вторичное действие. До сих пор я не наблюдал исключений из этого правила.

779. Вторичные действия *не ограничиваются водными растворами* или теми случаями, в которых присутствует вода. Например, в разнообразных хлоридах, когда они в расплавленном состоянии (402) подвергаются действию платиновых электродов, хлор электрически тяготеет к аноду. Во многих случаях, например в случае хлоридов свинца, калия, бария и т. п., хлор действует на платину и образует с ней соединения, которые растворяются. Но при протохлориде олова хлор у *анода* действует не на платину, а на находящийся уже там хлорид, образуя перхлорид олова, который испаряется (790, 804). Вот примеры вторичных действий обоего рода, происходящих в телах, не содержащих воды.

780. Получение бора из расплавленной буры (402, 417) также представляет собой случай вторичного действия; в самом деле, борная кислота не разлагается электричеством, и в описанном ранее опыте бор освобождается благодаря реакции выделяющегося у катода натрия с окружающей его борной кислотой, у которой он отнимает кислород.

781. В руках Беккереля вторичные действия уже дали много интересных результатов в смысле образования соединений; некоторые из них являются новыми телами, а другие воспроизводят тела, встречающиеся в природе.¹ Возможно, что они окажутся интересными и в смысле противоположных действий, т. е. представят нам примеры аналитического разложения. Подвергая такие вещества, как растительные кислоты и щелочи и вообще органические соединения, действию кислорода, водорода, хлора и т. п. в момент их выделения у электродов, можно, вероятно, получить много указаний в отношении состава этих веществ, а может быть, даже расположения их частиц. Эти действия представляются еще более многообещающими в связи с тем, что такие привходящие обстоятельства, как сила тока, размеры электродов, природа разлагаемого проводника, его крепость и т. п., находятся всецело в нашем распоряжении, и можно заранее предполагать, что все они оказывают соответствующее влияние на окончательный результат.

782. Я с большим удовлетворением отмечаю, что чрезвычайное разнообразие вторичных продуктов разложения не находится в противоречии с законом о постоянном и определенном электрохимическом действии, к специальному рассмотрению которого я теперь перейду.

ГЛАВА VII

Об определенной природе и о размерах электрохимического разложения

783. После того как в третьей серии настоящих исследований была доказана тождественность отдельных видов электри-

¹ *Annales de Chimie*, XXXV, стр. 113.

чества, получаемых из разных источников, и путем фастического измерения было показано, какое огромное количество электричества развивается весьма слабым гальваническим прибором (371, 376), я высказал там выведенный из опыта закон, который представлялся мне в высшей степени существенным для учения об электричестве вообще и, в частности, для той его отрасли, которая носит название электрохимии. Этот закон был формулирован таким образом: *химическое действие электрического тока прямо пропорционально абсолютному количеству проходящего электричества* (377).

784. В дальнейших исследованиях я часто имел случай обращаться к этому закону, и иногда при обстоятельствах, дающих веские подтверждения его справедливости (456, 504, 505); в настоящей серии было уже приведено множество случаев, в которых этот закон оправдывается (704, 722, 726, 732). В данный момент я ставлю себе целью более подробно рассмотреть это важное положение и развить некоторые вытекающие из него следствия. Для того чтобы сделать доказательства его более отчетливыми и более приложимыми, я приведу примеры разложения крайне простых, но зато весьма определенных по своей природе веществ, где вредные влияния вторичных реакций по возможности не велики.

785. Прежде всего, по моему мнению, в отношении разложения *воды* этот закон установлен с такой полнотой и при столь разнообразных условиях, которые могли бы оказать влияние на этот процесс (если такие условия вообще существуют), что я считаю себя вправе не затрагивать здесь дальнейших деталей, касающихся этого вещества, и не излагать полученных результатов даже вкратце (732). По этому вопросу я отсылаю интересующихся ко всему тому разделу этой серии «Исследований», в котором изложены данные о *вольта-электрометре* (704 и т. д.).

786. Далее я считаю, что в отношении *соляной кислоты* этот закон также установлен как опытами, так и теми соображениями, которые выдвигались ранее, когда об этом веществе говорилось

в разделе, относящемся к первичным и вторичным продуктам разложения (758 и т. д.).

787. Я считаю, что опытами и рассуждениями, выдвигавшимися в предшествующем разделе этой серии «Исследований», этот закон установлен также для иодисто-водородной кислоты (767, 768).

788. Из описанных выше и многих других не описанных опытов с фтористо-водородной, синильной, железо-синеродистой и сульфоцианистой кислотами (770, 771, 772) и на основании близкой аналогии между этими веществами и водородными кислотами хлора, иода, брома и т. п., я утверждаю, хотя уже не с прежней уверенностью, что они также подчиняются этому закону и дают добавочное доказательство его справедливости.

789. Принималось, что в предшествующих примерах, за исключением первого, вода не участвует в действии; однако, во избежание всякой обусловленной присутствием воды неясности, я стал разыскивать такие вещества, в которых вода отсутствовала бы совершенно. Опираясь на уже установленный выше закон проводимости (380 и т. д.), я вскоре отыскал множество таких веществ, среди которых первым был подвергнут разложению протохлорид олова. Опыт производился следующим образом: кусок платиновой проволоки был на одном конце свернут в виде маленького утолщения и после тщательного взвешивания был наглухо впаян в отрезок трубки из бутылочного стекла таким образом, чтобы утолщение приходилось на дне трубки, внутри нее (рис. 61 (690)). Посредством куска платиновой проволоки трубка была подвешена так, что ее можно было подогреть на спиртовой лампе. В трубку был введен свежерасплавленный протохлорид олова в таком количестве, чтобы в расплавленном состоянии он занимал примерно половину трубки. Проволока от трубки была присоединена к вольта-электрометру (711), который, в свою очередь, был соединен с отрицательным концом гальванической батареи; соединенная с положительным концом той же батареи платиновая проволока была погружена в расплавленный хлорид в трубке; при этом, однако, она была

изогнута таким образом, чтобы ни при каких сотрясениях руки или прибора она не могла коснуться отрицательного электрода на дне сосуда. Вся установка изображена на рис. 70.

790. При таких условиях хлорид олова разлагался: выделяющийся у положительного электрода хлор давал бихлорид олова (779), который улетучивался в виде дыма, а выделявшееся у отрицательного электрода олово соединялось с платиной, образуя сплав, который при той температуре, до которой была нагрета трубка, плавился; поэтому никогда не могло получиться металлического соединения через разлагаемый хлорид. После того как опыт длился достаточно долго и в вольта-электрометре

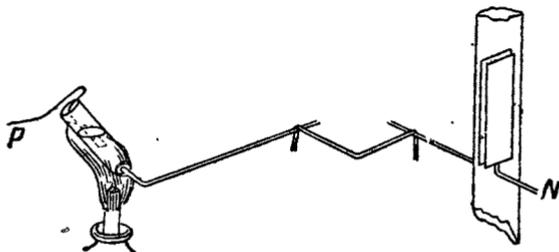


Рис. 70.

выделялось достаточное количество газа, соединения с батареей размыкались, положительный электрод удалялся, и трубке с оставшимся хлоридом давали остыть. Остывшую трубку разбивали, причем остаток хлорида олова и стекло легко отделялись от платиновой проволоки и от комочка сплава. После промывания проволоку вторично взвешивали, причем увеличение в весе давало вес восстановленного олова.

791. Я сейчас приведу результаты, полученные в одном из опытов; я хочу иллюстрировать ими тот метод, который был принят в этом и других опытах, результаты которых я буду иметь случай приводить в дальнейшем. Отрицательный электрод весил первоначально 20 гран; после опыта он вместе с комочком сплава весил 23,2 грана. Следовательно, олово, выделенное электрическим током на *катоде*, весило 3,2 грана. Количес-

во водорода и кислорода, собранных в вольт-электрометре, равняется 3,85 кубического дюйма. Так как можно считать, что 100 кубических дюймов кислорода и водорода, взятых в отношении, требуемом для образования воды, весят 12,92 грана, то 3,85 кубических дюйма будут весить 0,49742 грана. Это, следовательно, представляет собой вес воды, разложенной тем самым электрическим током, который способен разложить такое по весу количество протохлорида олова, из которого может выделиться 3,2 грана металла. Но 0,49742 так относится к 3,2 как 9 (эквивалент воды) к 57,9; последнее число, таким образом, дает эквивалент олова, если только опыт был произведен без ошибок, и если электрохимическое разложение является в этом случае также определенным. В некоторых трудах по химии для химического эквивалента олова дается цифра 58, в других — 57,9. Оба значения настолько близки к результату описанного опыта, а сам опыт настолько подвержен незначительным колебаниям (вследствие, например, поглощения газов в вольт-электрометре (716) и т. п.), что эти числа не оставляют никаких сомнений в том, что закон постоянства действия применим к этому и ко всем аналогичным случаям электроразложения.

792. Не так уже часто я получал такое близкое численное совпадение, как только что приведенное. С протохлоридом олова было произведено четыре опыта, причем количество выделившегося газа колебалось от 2,05 до 10,29 кубического дюйма. Для электрохимического эквивалента олова среднее из четырех опытов дало 58,53.

793. Оставшийся после опыта хлорид представлял собой чистый протохлорид олова, и никто не станет ни на момент сомневаться, что у анода выделялся один эквивалент хлора, образуя в качестве вторичного продукта бихлорид олова и затем улетучиваясь.

794. С хлоридом свинца были произведены опыты, вполне схожие с описанными, если не считать замену материала положительного электрода другим; так как выделяющийся у анода хлор не образует перхлорида свинца, а непосредственно

действует на платину, то, если пользоваться этим металлом, образуется раствор хлорида платины в хлориде свинца, а тогда часть платины может перейти к *катоду*, и результат получится неверный. Поэтому я искал — и нашел его в графите — другого вещества, которое можно было бы надежно брать в качестве положительного электрода в таких соединениях, как хлориды и иодиды и т. п. Хлор и иод на него не действуют, а выделяются в свободном состоянии, и при таких условиях графит не действует на расплавленные хлорид и иодид, в которые он погружен. Если бы даже вследствие нагревания или механического действия выделяющегося газа и отделилось несколько частиц графита, то они не могли бы проявить вредное действие в хлориде.

795. Среднее из трех опытов дает для эквивалента свинца число 100,85. Химический эквивалент его равен 103,5. Полученное в моих опытах отклонение я приписываю растворению части газа (716) в вольт-электрометре; но эти результаты не оставляют у меня сомнений в том, что в этом случае как свинец, так и хлор под действием определенного количества электричества выделяются в *определенных количествах* (814 и т. д.).

796. Х л о р и д с у р ь м ы. Именно при попытке определить электрохимический эквивалент сурьмы из хлорида я нашел основания для утверждения, что в нем присутствует вода; это утверждение было сделано мною в настоящих «Исследованиях» (690, 693 и т. д.) несколько ранее.

797. Я пытался произвести опыт с *окисью свинца*, полученной расплавлением и раскачиванием нитрата в платиновом тигле, но натолкнулся на значительные затруднения из-за высокой температуры, потребной для полного расплавления, и вследствие того, что это вещество, как оказалось, сильно действует, как пламень. Трубки из зеленого стекла неоднократно оказывались непригодными. Наконец, я расплавил окись в небольшом фарфоровом тигле, который я нагревал, поместив его целиком в пламя древесного угля, а так как было существенно, чтобы у катода свинец выделялся ниже поверхности, то отрицательный электрод был защищен трубкой из зеленого стекла, в которую

он был впаян так, чтобы внешнему действию подвергалось одно лишь платиновое утолщение на нижнем конце (рис. 71); этот конец можно было тогда погрузить под поверхность и таким образом предотвратить соприкосновение между воздухом или кислородом и восстановившимся там свинцом. Положительным электродом служила платиновая проволока, так как на этот металл выделяющийся у него кислород совершенно не действует. Установка изображена на рис. 72.

798. В одном из таких опытов для эквивалента свинца было получено число 93,17, которое слишком мало. Я полагаю, что это



Рис. 71.

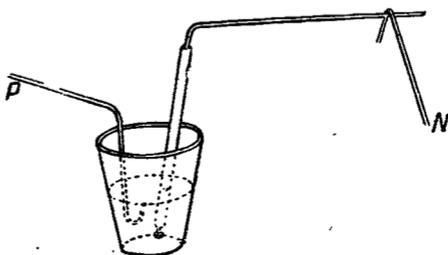


Рис. 72.

произошло из-за малого расстояния между электродами в окиси свинца; при таких условиях вполне правдоподобно, что часть пены и пузырьков, образуемых кислородом вблизи *анода*, могла случайно прийти в соприкосновение со свинцом, восстановленным на *катоде*, и снова его окислить. Когда я пожелал этому помочь увеличением количества массикота, то для сохранения всего этого количества в жидком состоянии потребовалось значительно больше тепла, которое быстро подействовало на тигель; последний скоро прогорел, и опыт был приостановлен.

799. В одном из таких опытов я взял борат свинца (408, 673). Это вещество под влиянием электрического тока выделяет у *анода* свинец, а у *катода* кислород, а так как при этом сама борная кислота не разлагается ни непосредственно (408), ни случайно, то я ожидал получить результаты, соответствующие

окси свинца. Борат не является таким сильным плавиком, как окись свинца, но он требует более высокой температуры для полного расплавления; если он не очень сильно нагрет, то к положительному электроду прилипают пузырьки кислорода, задерживающие перенос электричества. Для свинца получилось число 101,29, что настолько близко к 103,5, что доказывает определенность действия тока.

800. О к и с ь в и с м у т а. Я обнаружил, что это вещество требует слишком высокой температуры и как пламень действует чересчур сильно, так что для произведения с ним опытов потребовалось бы больше времени и тщательности, чем я мог бы уделить в данное время.

801. Обыкновенный протоксид сурьмы, состоящий из одного эквивалента металла и полутора эквивалентов кислорода, был подвергнут действию электрического тока в трубке из зеленого стекла (789), обернутой листовой платиной и подогреваемой в пламени древесного угля. Разложение наступало и сначала шло очень хорошо, повидимому, указывая, в соответствии с общим законом (679, 697), на то, что это соединение содержит такие вещества и в таких количественных отношениях, которые допускают действие на него электрического тока. Я уже приводил доводы в пользу предположения, что это действие обусловлено присутствием настоящего протоксида, отвечающего отношению один к одному (696, 693). Действие вскоре ослабевало, и, наконец, совсем прекращалось вследствие образования на положительном электроде высшего окисла этого металла. Это соединение, которое, вероятно, представляет собой пероксид, будучи не плавким и не растворимым в протоксиде, образовало вокруг положительного электрода кристаллическую корочку и, изолируя его, мешало тем самым прохождению электричества. Ввиду его отклонения от требуемого состава (697), сомнительно, разлагалось ли бы оно, если бы оно было плавким, но не смешивалось. Оно представляло собой весьма естественный вторичный продукт разложения у положительного электрода (779). После вскрытия трубки было обнару-

жено, что у отрицательного электрода выделилось немного сурьмы, но количество ее было слишком мало для того, чтобы можно было сделать какие-либо количественные выводы.¹

802. Иодид свинца. Опыты с этим веществом можно производить в трубках, нагреваемых на спиртовой лампе (789); однако я не получал с ними хороших результатов, независимо от того, каким положительным электродом я пользовался — платиновым или графитовым. В двух опытах вместо 103,5, для свинца получались числа 75,46 и 73,45. Я приписываю это образованию у положительного электрода периодида, который, растворяясь в массе жидкого иодида, приходил в соприкосновение с выделившимся у отрицательного электрода свинцом и отчасти растворял его, превращаясь снова в иодид. Такой периодид действительно существует, и очень редко удается расплавить полученный осаждением и хорошо промытый иодид свинца без того, чтобы из-за присутствия этого высшего соединения выделилось большое количество иода; кристаллизацией из горячего водного раствора также не удается освободиться от этого вещества. Даже при простом растирании в ступке небольшого количества протоиодида свинца и иода образуется некоторое количество периодида. И хотя при расплавлении и нагревании в течение нескольких минут до темнокрасного каления он разлагается и вся смесь превращается в протоиодид, тем не менее не исключена возможность, что небольшое количество периодида свинца, образующегося при большом избытке иода у *анода*, может вследствие быстрых потоков в жидкости прийти в соприкосновение с *катодом*.

803. Такое заключение было подкреплено третьим опытом, в котором расстояние между электродами было увеличено до одной трети дюйма; в самом деле, теперь вредные действия были значительно ослаблены, и для свинца получилось число 89,04; это полностью согласовалось с результатами, полученными в

¹ Этот параграф нуждается теперь в поправке, см. примечание к п. 696. Дек. 1838 г.

случаях *переноса*, которые будут описаны ниже (818). Таким образом опыты с иодидом свинца не представляют исключения из рассматриваемого *общего закона*, а наоборот, на основании общих соображений можно считать, что они ему подчиняются.

804. П р о т о и о д и д о л о в а. В расплавленном состоянии это вещество является проводником и разлагается электрическим током, причем у *анода* выделяется олово, а у *катода* в качестве вторичного продукта — периодид (779, 790). Температура, необходимая для его плавления, чересчур высока для того, чтобы можно было получить продукты разложения в количестве, допускающем взвешивание.

805. И о д и д к а л и я подвергался электрохимическому действию в трубке, подобной изображенной на рис. 61 (690). Отрицательным электродом служил свинцовый шарик; я надеялся этим путем удержать калий и получить такие продукты, которые можно было бы взвесить и сравнить с показаниями вольта-электрометра. Однако затруднения, связанные с требуемой высокой температурой, с действием на стекло, плавлением платины, вызываемым присутствием свинца, и другие обстоятельства воспрепятствовали получению таких результатов. Как и в предыдущих случаях, иодид разлагался с выделением иода у *анода* и калия у *катода*.

806. В некоторых из этих опытов несколько веществ было расположено последовательно и одновременно разлагалось одним и тем же электрическим током; так, одновременному действию подвергались протохлорид олова, хлорид свинца и вода. Нет необходимости указывать, что результаты получались сравнимые: олово, свинец, хлор, кислород и водород выделялись в *определенных количествах*, представлявших электрохимические эквиваленты каждого.

807. Обратимся к другого рода доказательству *определенности химического действия электричества*. Если про какие-нибудь обстоятельства можно предположить, что они способны оказать влияние на количество тех веществ, которые выде-

ляются во время электрохимического действия, то следовало бы ожидать, что эти обстоятельства будут налицо, если пользоваться электродами из различных материалов, обладающих весьма различным химическим сродством к разлагаемым веществам. Платина в разбавленной серной кислоте не обладает способностью входить в соединение с кислородом у анода, хотя кислород и появляется около нее в момент выделения. С другой стороны, медь немедленно соединяется с кислородом, как только электрический ток отделяет его от водорода, а цинк не только способен соединяться с ним, но может и без всякой помощи электричества непосредственно отнимать кислород от воды, выделяя при этом струю водорода. Тем не менее, когда эти три вещества были взяты в качестве положительных электродов в трех одинаковых порциях одной и той же разбавленной серной кислоты с удельным весом 1,336, то количество разложенной электрическим током воды было в точности одинаково, и у *катодов* этих трех растворов выделялось точь-в-точь одинаковое количество водорода.

808. Опыт проводился так: в три сосуда были налиты порции разбавленной серной кислоты. Такой же кислотой были наполнены три трубки вольта-электрометров, имевшие форму, изображенную на рис. 62,64; в каждый сосуд было опрокинуто по одной трубке (707). Цинковая пластинка, соединенная с положительным полюсом гальванической батареи, была погружена в первый сосуд, служа в нем положительным электродом; водород, обильно выделявшийся под непосредственным действием кислоты, мог свободно улетучиваться. Медная пластинка, погруженная в кислоту второго сосуда, была соединена с отрицательным электродом *первого* сосуда, а платиновая пластинка, погруженная в кислоту третьего сосуда, соединялась с отрицательным электродом *второго* сосуда. Отрицательный электрод третьего сосуда был присоединен к вольта-электрометру (711), а последний — к отрицательному концу гальванической батареи.

809. Немедленно по замыкании цепи во всех сосудах начиналось *электрохимическое действие*. От положительного цин-

кового электрода в первом сосуде поднимался, как и раньше, водород и, повидимому, в следуемом по закону количестве. У положительного медного электрода во втором сосуде кислород не выделялся, но там происходило образование сульфата меди; у положительного платинового электрода в третьем сосуде выделялся чистый кислород, самая же платина оставалась неизменной. Но во *всех* сосудах количество водорода, освобождавшегося у отрицательных платиновых электродов, было *одинаково* и равно объему водорода, выделявшегося в вольта-электрометре, что указывает на то, что во всех сосудах ток разлагал равные количества воды. Таким образом и в этом сложном случае химическое действие электричества было совершенно определенным.

810. Подобный же опыт был произведен с соляной кислотой, разбавленной равным объемом воды. Три положительных электродами служили цинк, серебро и платина. Цинк способен отнимать хлор и соединяться с ним без помощи тока; серебро может соединяться с хлором только в том случае, если последний выделен током, а платина почти совсем с ним не соединяется. Три отрицательными электродами, как и ранее, служили платиновые пластинки, укрепленные внутри стеклянных трубок. В этом опыте, как и в предыдущем, количество выделявшегося у *катода* водорода было для всех случаев одинаково и равнялось количеству водорода, выделявшегося в вольта-электрометре. Я уже приводил свои доводы в пользу предположения, что в этих опытах электричеством непосредственно разлагается именно соляная кислота (764), и эти опыты подтверждают, что разложенные таким образом количества веществ являются *совершенно определенными* и пропорциональны количеству прошедшего электричества.

811. В данном опыте получавшийся во втором сосуде хлорид серебра задерживал прохождение тока электричества в соответствии с описанным выше законом проводимости (394), так что в течение опыта хлористое серебро приходилось раза четыре или пять удалять; однако это не вызывало различия между результатами, получавшимися для этого или других сосудов.

812. В опытах как с серной, так и с соляной кислотой в качестве положительного электрода я брал древесный уголь (808, 810), но такая замена не влияла на результаты разложения. Положительный электрод из цинка в сульфате натрия или в растворе поваренной соли давал такое же постоянство действия.

813. Далее, подобные опыты были произведены с веществами, находящимися в совершенно ином состоянии, т. е. с *расплавленными* хлоридами и иодидами и т. д. Я уже описывал опыт с расплавленным хлоридом серебра, в котором электроды были из металлического серебра; тогда электрод, являвшийся положительным, увеличивался и удлинялся благодаря наращиванию металла, тогда как отрицательный растворялся и разъедался вследствие ухода металла. Этот опыт был повторен, причем в качестве электродов были взяты два взвешенных кусочка серебряной проволоки, и в цепь был введен вольт-электрометр. Принимались все меры к тому, чтобы отрицательный электрод вытягивать так аккуратно и бережно, чтобы кристаллы восстановленного серебра не могли образовать *металлического* соединения под поверхностью расплавленного хлорида. По окончании опыта положительный электрод был вновь взвешен, и была определена его потеря в весе. Смесь хлорида серебра и металла, снимаемая порциями с отрицательного электрода, была обработана в растворе аммиака для удаления хлорида, а остающееся металлическое серебро было также взвешено. У *катода* происходило восстановление, а у *анода* — в точности равное ему растворение металла, и обе порции были почти точно эквивалентны количеству воды, разложенной в вольт-электрометре.

814. То, что серебро при температуре опыта не плавилось, а также длина и ветвистый характер его кристаллов затрудняют постановку описанного опыта и делают результаты его ненадежными. Поэтому я произвел опыты с хлоридом свинца, пользуясь трубками из зеленого стекла, которым была придана форма, изображенная на рис. 73. Взвешенная платиновая проволока была вплавлена, как описано выше (789), в дно небольшой

трубки. Затем трубка была изогнута под углом, примерно на расстоянии полдюйма от закрытого конца, а часть ее между изгибом и концом была размягчена и вдавлена кверху, как изображено на рисунке, так что образовался мостик или, скорее, перемычка, а по обе стороны внутри трубки — два небольших углубления, или сосудика, *a* и *b*. Этот прибор, как и ранее, был подвешен помощью платиновой проволоки, и его можно было подогревать на спиртовой лампе; ему был придан такой наклон, чтобы при плавлении хлорида свинца воздух мог выходить из трубки. Положительным электродом служила платиновая проволока, конец которой был свернут узелком; на него в небольшой закрытой стеклянной трубке, которая в дальнейшем разбивалась, было наплавлено гранов двадцать металлического свинца. В таком виде проволока вместе со свинцом была взвешена, и вес ее был записан.

815. После этого в трубку был введен хлорид свинца, который затем был тщательно расплавлен. Электрод со свинцом также был введен в трубку, после чего металл на его конце быстро расплавлялся. В этот момент трубку до уровня *c* наполняли расплавленным хлоридом свинца; конец электрода, который должен был служить отрицательным, находился в углублении *b*, а электрод из расплавленного свинца оставался в углублении *a* и становился положительным вследствие соединения с соответствующим проводом гальванической батареи. В цепь был введен вольт-электромметр.

816. Немедленно по замыкании соединений с гальванической батареей начинал идти ток, и происходило разложение. Хлор у положительного электрода не выделялся, но так как расплавленный хлорид был прозрачен, то около *b* можно было наблюдать постепенное образование и рост комочка сплава; в то же время около *a* можно было видеть постепенное уменьшение количества свинца. По истечении некоторого промежутка

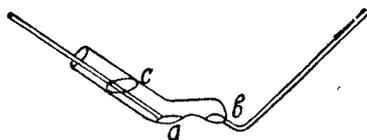


Рис. 73.

времени опыт был приостановлен, трубке дано было остынуть, после чего она была разбита; проволоки вместе с их наращенными были очищены и взвешены, и их изменение в весе было сравнено с показанием вольта-электрометра.

817. Положительный электрод в этом опыте потерял ровно столько свинца, сколько приобрел отрицательный (795), причем уменьшение и увеличение в весе были почти эквивалентны количеству разложенной в вольта-электрометре воды, давая для свинца значение 101,5. Таким образом из этого примера видно, что будем ли мы устраивать так, чтобы проявлялось сильное сродство вещества на аноде или сродства вовсе не будет (807), — это не произведет никаких изменений в определенном действии электрического тока.

818. Подобный же опыт был затем произведен с иодидом свинца, и таким образом были устранены все недоразумения, связанные с образованием периодида свинца (803). Иод не выделялся в течение всего опыта, и окончательная потеря свинца у *анода* была равна приросту его у *катода*, причем значение эквивалента, полученное сравнением с показаниями вольта-электрометра, было равно 103,5.

819. Затем, таким же путем действию электрического тока подвергался протохлорид олова, причем положительный электрод, конечно, был изготовлен из олова. Образования бихлорида олова теперь не было (779, 790). Исследование электродов показало, что положительный потерял в весе ровно столько же, сколько приобрел отрицательный, а сравнение с показаниями вольта-электрометра дало для эквивалента олова число 59.

820. В этих и подобных опытах совершенно необходимо исследовать внутренние части комочков сплава на концах проводящих проволок, так как иногда, особенно у тех проволок, которые являлись положительными, там имеются раковины, где отлагается часть служивших для опыта хлоридов и иодидов; последние перед окончательным определением веса должны быть удалены. Это со свинцом наблюдается чаще, чем с оловом.

821. Я полагаю, что совокупность всех этих фактов создает неопровержимую цепь доказательств, подтверждающих справедливость первоначально высказанного важного положения, а именно, что *химическое действие тока электричества прямо пропорционально абсолютному количеству проходящего электричества* (377, 783). Факты далее подтверждают, что это справедливо не только для одного вещества, например для воды, но и для всякого электролита; и далее, что результаты, полученные для какого-нибудь *одного вещества*, согласуются не только друг с другом, но также и с результатами, полученными для *других веществ*, и все вместе представляют собой *один ряд определенных электрохимических действий* (505). Я не хочу сказать, что не окажется исключений; может быть, таковые и найдутся, особенно среди веществ, связанных лишь слабым химическим сродством, но я не думаю, чтобы такие случаи были в состоянии серьезно изменить изложенные выводы. Подобные исключения, к тому же многочисленные, имеются в тщательно продуманных, хорошо изученных и, я могу сказать с уверенностью, твердо установленных теориях определенной природы обыкновенного химического сродства, но они не поколебали нашего доверия к общему заключению; а потому их существование следует допустить и в данном случае, при самом возникновении нового взгляда на электрохимические действия; но их не следует выставлять в качестве препятствий для тех, кто занят дальнейшим усовершенствованием этого взгляда; должно временно оставить их в стороне в надежде, что, в конце концов, они получат полное и удовлетворительное объяснение.

822. Только что изложенное и, я считаю, установленное учение об *определенном электрохимическом действии* приводит к некоторым новым взглядам на отношения и подразделение веществ, подверженных этому действию или связанных с ним. К рассмотрению некоторых из этих взглядов я и перейду.

823. Прежде всего, сложные тела можно подразделить на два обширных класса, а именно: на тела, которые разлагаются электрическим током, и на такие, которые им не разлагаются; среди последних одни являются проводниками гальванического электричества,¹ другие — непроводниками. У первых способность к разложению определяется не только природой входящих в их состав элементов, но, вероятно, также и их весовыми соотношениями (697), так как из одних и тех же двух элементов можно составить вещества, из которых одно будет принадлежать к первому, а другое — ко второму классу. Замечательно далее и то, что за немногими исключениями, — а, может быть, и безо всяких исключений, — эти поддающиеся разложению вещества оказываются как раз теми, которые подчиняются замечательному закону проводимости, данному мною ранее (394), ибо этот закон не распространяется на те многочисленные сложные плавкие вещества, которые к этому классу не принадлежат. Я предлагаю называть входящие в этот класс разложимые вещества *электролитами* (664).

824. Далее, те вещества, на которые под влиянием электрического тока разлагаются электролиты, составляют крайне важный общий класс. Они суть способные к соединению тела; они непосредственно связываются с основной частью учения о химическом сродстве, и каждому из них присуще определенное количественное отношение, в котором они выделяются при электролитическом действии. Я предложил назвать эти вещества вообще *ионами*, или, в частности, *анионами* и *катионами*, смотря по тому, где они выделяются — у *анода* или у *катода* (665); числа, соответствующие весовым количествам, в которых они выделяются, я называю *электрохимическими эквивалентами*. Так, водород, кислород, хлор, иод, свинец, олово являются *ионами*; три первых представляют собой *анионы*, оба металла —

¹ Под гальваническим электричеством я подразумеваю электричество от очень обильного источника, обладающего, однако, весьма малым напряжением.

катионы, а числа 1, 8, 36, 125, 104, 58 суть приблизительно их электрохимические эквиваленты.

825. Краткое изложение известных установленных выше положений относительно электролитов, ионов и электрохимических эквивалентов можно дать в виде следующих общих предложений, не содержащих, я надеюсь, серьезных ошибок.

826. I. Отдельный ион, т. е. ион, не соединенный с другим, не будет обнаруживать стремления двигаться ни к одному из электродов и будет совершенно безразличен к проходящему току, если только сам не является соединением более элементарных ионов и, таким образом, сам на деле подвержен разложению. На этом факте основаны многие из доказательств, приводившихся в пользу новой теории электрохимического разложения, которую я предложил в одной из предшествующих серий настоящих «Исследований» (518 и т. д.).

827. II. Если один ион соединен в должном количестве с другим, резко противоположным ему по обычным химическим отношениям, например, если анион соединен с катионом, то оба они перемещаются один к аноду, а другой к катоду разлагаемого вещества (530, 542, 547).

828. III. Поэтому, если какой-либо ион перемещается по направлению к одному из электродов, то одновременно другой ион должен также перемещаться к другому электроду, хотя в результате вторичных реакций он может там и не обнаруживаться (743).

829. IV. Вещество, непосредственно разлагаемое электрическим током, иначе электролит, должно состоять из двух ионов и должно выделять их при разложении.

830. V. Из одних и тех же двух элементарных ионов может быть составлен только один электролит; так, кажется, дело обстоит в связи с тем законом, что к электродам могут идти лишь одиночные электрохимические эквиваленты, а кратные их идти не могут.

831. VI. Вещество, само по себе не поддающееся разложению, как, например, борная кислота, не разлагается электрическим

током непосредственно и тогда, когда оно находится в соединении (780). Оно может играть роль иона, переходя к *аноду* или *катоду* как целое, но не выделяет своих элементов, за исключением случаев вторичного действия. Излишне, может быть, указывать, что это утверждение *не имеет отношения* к таким веществам, как вода, которая благодаря присутствию других веществ превращается в проводник электричества и *поэтому* легче и разлагается.

832. VII. Природа вещества, из которого состоит электрод, при условии, что оно является проводником, не оказывает влияния ни на характер, ни на степень электроразложения (807, 813), но в результате вторичного действия (744) она значительно влияет на то состояние, в котором, в конце концов, появляются *ионы*. Этим правилом можно с выгодой воспользоваться, собирая в виде соединений такие *ионы*, которые трудно поддаются действию, если их получать в свободном состоянии.¹

833. VIII. Вещество, которое, будучи взято в качестве электрода, может соединяться с выделяющимся у него *ионом*, является, как я полагаю, также *ионом* и в таких случаях вступает в соединения в количестве, определяемом его *электрохимическим эквивалентом*. Все произведенные мною опыты согласуются с такой точкой зрения, которая в настоящее время представляется мне естественным выводом из них. Чтобы определить, следуют ли аналогичные выводы и для вторичных действий, имеющих место там, где *ион* действует не на материал электрода, а на вещество окружающей его жидкости (744), потребуются более обширные исследования.

¹ Часто случается, что природа электродов такова, что они вместе с жидкостью, в которую их погружают, дают электрический ток, совпадающий по направлению с током служащего для опыта гальванического прибора, или же противоположный ему; таким путем или путем прямого химического действия электроды могут сильно запутать результаты. Тем не менее, и при наличии таких вредных действий электрический ток, проходя через разлагаемое вещество в любом направлении, будет производить присущее ему определенное электролитическое действие.

834. IX. Сложные *ионы* не обязательно составлены из электрохимических эквивалентов простых *ионов*. Так, например, серная кислота, борная кислота, фосфорная кислота представляют собой *ионы*, но не *электролиты*, т. е. они не составлены из электрохимических эквивалентов простых *ионов*.

835. X. Электрохимические эквиваленты постоянны, т. е. одно и то же число, которое изображает эквивалент вещества *A*, при отделении последнего от вещества *B*, будет представлять эквивалент *A* и при отделении его от третьего вещества *C*. Так, электрохимический эквивалент кислорода равен 8, безразлично, от чего он отделяется: от водорода, олова или свинца; а 103,5 есть электрохимический эквивалент свинца, причем все равно от чего отделяется этот последний: от кислорода, хлора или иода.

836. XI. Электрохимические эквиваленты совпадают и тождественны с обычными химическими эквивалентами.

837. Пользуясь опытом и предыдущими положениями, можно различными путями получить сведения об *ионах* и об их электрохимических эквивалентах.

838. Во-первых, электрохимические эквиваленты можно определить непосредственно, как это было сделано для водорода, кислорода, свинца и олова в многочисленных приведенных выше опытах.

839. Далее, из положений II и III можно вывести сведения о целом ряде других *ионов*, а также и об их эквивалентах. Когда разлагался хлорид свинца, при двух платиновых электродах (395), сомнений в том, что хлор переносился к *аноду*, хотя он там и соединялся с платиной, оставалось не больше, чем в случае графитового положительного электрода (395), когда хлор мог выделяться в свободном виде; ни в одном из этих случаев не могло также возникнуть никаких сомнений в том, что на каждые 103,5 частей свинца, выделенного у *катода*, у *анода* выделялось 36 частей хлора, потому что оставшийся хлорид свинца оставался неизменным. Таким же образом, когда у *анода* в растворе соли металла появлялся один объем кислорода или

какое-либо вторичное соединение, содержащее его в таком же количестве, то не могло возникнуть никаких сомнений в том, что к катоду направлялось два объема водорода, хотя в результате вторичных реакций он и мог быть израсходован на восстановление до металла окислов свинца, меди или других металлов. Таким путем из описанных в настоящих исследованиях опытов мы узнаем, что хлор, иод, бром, фтор, кальций, калий, стронций, магний, марганец и т. п. являются *ионами*, и что их *электрохимические эквиваленты* тождественны с их *обычными химическими эквивалентами*.

840. Положения IV и V расширяют наши средства познания. В самом деле, если какое-либо вещество, химический состав которого известен, оказывается разложимым, и если установлена природа вещества, выделяемого у одного из электродов в качестве первичного или даже вторичного продукта разложения (743, 777), то электрохимический эквивалент разлагаемого вещества можно вычислить из известного нам постоянного состава выделяющегося вещества. Так, когда гальваническим током разлагается протоиодид олова (804), то можно вывести заключение, что как иод, так и олово являются ионами, и что те весовые отношения, в которых они входят в это расплавленное соединение, выражают их электрохимические эквиваленты. То же касается расплавленного иодида калия (805); он является электролитом, и химические эквиваленты будут также и электрохимическими эквивалентами.

841. Если положение VIII подкрепить обширными экспериментальными исследованиями, то оно не только поможет подтвердить выводы, полученные с помощью других положений, но, в свою очередь, даст нам свои собственные, обильные и оригинальные сведения.

842. Во многих случаях электрохимический эквивалент получается с помощью *вторичных продуктов разложения*, произведенных действием выделившегося *иона* на вещества, присутствующие в окружающей жидкости или растворе. Так, в растворе ацетата свинца и, поскольку мне удалось установить,

и в других прото-солях, подвергаемых у катода восстанавливающему действию водорода в момент выделения, количество осажденного металла было таково же, как если бы он был первичным продуктом (при условии, что свободный водород не уходил в воздух), и поэтому давало число, в точности соответствующее его электрохимическому эквиваленту.

843. На основании этого положения и вторичные продукты разложения могут иногда служить мерилем гальванического тока (706, 740). Однако имеется лишь небольшое число металлических растворов; удовлетворяющих этой цели, так как если осаждение металла не происходит достаточно легко, то у *катода* выделяется водород, что ведет к искажению результатов. Если у *анода* образуется растворимый *пероксид* или если кристаллы осаждаемого металла прорастают через весь раствор и касаются положительного электрода, то получается такое же искажение результатов. Я надеюсь, что с некоторыми солями, каковы ацетаты ртути и цинка, я найду подходящие для этой цели растворы.

844. После первых экспериментальных исследований по установлению определенности химического действия электричества, я твердо решил воспользоваться более точными результатами химического анализа, чтобы внести исправление в значения, полученные в результате электролиза. Очевидно, что это можно сделать в большом числе случаев, не греша против требуемой строгости научных исследований. Так же, как числа, выражающие обыкновенные эквиваленты химически действующих тел, ряд чисел, дающих электрохимические эквиваленты, должен подвергаться непрерывным исправлениям, основанным на опыте и правильных умозаключениях.

845. Ниже я привожу краткую таблицу *ионов* и их электрохимических эквивалентов, скорее как образец первого в этом направлении опыта, чем для того, чтобы удовлетворить потребность в полной и законченной табличной сводке этого класса веществ, — потребность, которая скоро должна будет ощущаться. Я предвижу чрезвычайную полезность такой таблицы (если

она будет хорошо составлена) для вскрытия тесной связи между обычным химическим сродством и электрическими действиями и для отождествления их основанного не на одном воображении, но и на свидетельстве чувств и здравом суждении; а потому я считаю себя вправе высказать надежду, что всегда будет наблюдаться стремление сделать эту таблицу таблицей *реальных*, а не *гипотетических* электрохимических эквивалентов; иначе мы выйдем за пределы фактов и утратим из вида и из сознания те сведения, которые лежат непосредственно перед нами.

846. Приводимые эквивалентные числа не претендуют на точность и почти целиком заимствованы из химических опытов других ученых, которым я в этих вопросах могу доверять более, чем себе самому.

847.

ТАБЛИЦА ИОНОВ

Анионы

Кислород	8	Селеновая кислота	64	Виннокаменная кислота	66
Хлор	35,5	Азотная кислота	54	Лимонная кислота	58
Иод	126	Хлорноватая кислота	75,5	Щавелевая кислота	36
Бром	78,3	Фосфорная кислота	35,7	Сера (?)	16
Фтор	18,7	Угольная кислота	22	Селен (?)	?
Синерод	26	Борная кислота	24	Сульфо-синерод	?
Серная кислота	40	Уксусная кислота	51		

Катионы

Водород	1	Кадмий	55,8	Натр	31,3
Калий	39,2	Церий	46	Лития	18
Натрий	23,3	Кобальт	29,5	Барита	76,7
Литий	10	Никель	29,5	Стронция	51,8
Барий	68,7	Сурьма	64,6?	Известь	28
Стронций	43,8	Висмут	71	Магнезия	20,7
Кальций	20,5	Ртуть	200	Алюмина	?
Магний	12,7	Серебро	108	Вообще прото-	
Марганец	27,7	Платина	98,6?	кисиды	
Цинк	32,5	Золото	?	Хинин	171,6
Олово	57,9	Аммиак	17	Хинхона	160
Свинец	103,5	Кали	47,2	Морфий	290
Железо	28			Вообще раститель-	
Медь	31,6			ческие щелочи	

848. Эту таблицу можно было бы далее разбить на группы таких веществ, которые либо соединяются друг с другом, либо друг друга замещают. Так, например, кислоты и основания действуют друг на друга, но не могут действовать в соединении с кислородом, водородом или простыми веществами. Фактически почти нет сомнений в том, что при более близком изучении электрических связей между частицами материи такое подразделение понадобится произвести. Простые вещества, а также синерод, сульфо-синерод и одно-два сложных тела составят, вероятно, первую группу, а кислоты, основания и аналогичные им соединения, которые окажутся *ионами*, — вторую группу. Войдут ли сюда все *ионы*, или потребуются третий класс более сложных продуктов разложения, — это должно быть решено дальнейшими опытами.

849. *Возможно*, что все известные нам в настоящее время простые тела представляют собой *ионы*, но это еще не установлено. Есть такие, как углерод, фосфор, азот, кремний, бор, алюминий, для которых желательно по возможности скорее решить, имеют ли они право на название *иона*. Имеется также большое количество сложных тел, среди них, например, кремнезем и глинозем, которые желательно немедленно отнести к тому или иному классу на основе неопровержимых опытов. *Возможно* также, что все способные входить в соединение тела — как сложные, так и простые — принадлежат к классу *ионов*, но в настоящее время я не считаю это вероятным. Опытные данные, которыми я располагаю, все же настолько еще ничтожны по сравнению с теми, которые должны постепенно накапливаться по этому и родственным вопросам, что я не решаюсь высказывать определенное мнение.

850. Я думаю, что не ошибаюсь, когда придаю учению об определенном электрохимическом действии огромное значение. Относящиеся к нему факты более непосредственно и близко, чем какой-либо предшествующий факт или совокупности фактов, подкрепляют прекрасное представление о том, что обычное химическое соодство является лишь простым следствием электриче-

ческих притяжений различных по природе частиц материи; и весьма вероятно, что оно приведет нас к средствам, с помощью которых мы сможем осветить то, что в настоящий момент представляется столь темным, и поможет либо полностью подтвердить справедливость этого предположения, либо разработать другое, которому суждено его заменить.

851. Электрохимические эквиваленты оказываются очень ценными при решении в сомнительных случаях вопроса о том, чему равен истинный химический эквивалент, относительное количество или атомный вес какого-либо вещества; ибо я твердо убежден, что электроразложение и обыкновенные химические притяжения подчиняются одной и той же силе; я настолько верю в решающее влияние тех естественных законов, которые делают электроразложение определенным, что не колеблюсь допустить, что и химические притяжения должны им подчиниться. При таких условиях я не сомневаюсь в том, что если принять водород за 1 и отбросить для простоты выражений малые дроби, то эквивалент, или атомный вес, кислорода будет равен 8, хлора — 36, брома — 78,4, свинца — 103,5, олова — 59 и т. д., несмотря на то, что, по мнению одного весьма высокого авторитета, некоторые из этих чисел должны быть удвоены.

РАЗДЕЛ 13

Об абсолютном количестве электричества, связанном с частицами или атомами материи

852. Теория определенности электрического или электрохимического действия представляется мне непосредственно связанной с вопросом об *абсолютном количестве* электричества, или электрической силы, присущей различным веществам. Пожалуй, невозможно говорить об этом вопросе, не выходя за пределы известных нам в настоящее время фактов; однако было бы в равной степени невозможно, а, может быть, и нерационально, вовсе не обсуждать этого вопроса. Хотя мы ничего не знаем о том, что такое атом, но мы невольно представляем себе какую-

то малую частичку, которая является нашему уму, когда мы о ней думаем; правда, в таком же или в еще большем неведении мы находимся относительно электричества; мы даже не в состоянии сказать, представляет ли оно собой особую материю или материи или же просто движение обыкновенного вещества, или еще какой-то вид силы или агента; тем не менее, имеется огромное количество фактов, заставляющих нас думать, что атомы материи каким-то образом одарены электрическими силами или связаны с ними, и им они обязаны своими наиболее замечательными качествами, и в том числе своим химическим сродством друг к другу. С тех пор как мы из учения Дальтона знаем, что химические свойства являются определенным для каждого тела, как бы ни изменились условия, при которых они обнаруживаются, мы научились определять относительную степень силы, присущей таким телам; к этому мы должны теперь прибавить тот факт, что электричество, которое мы, повидимому, можем на время высвободить из его обиталища и переносить с одного места на другое *с сохранением его химической силы*, может быть измерено и, как показывают измерения, оказывается при этом *столь же определенным по своему действию*, как любое из *тех количеств*, которые, оставаясь связанными с частицами материи, сообщают им их *химическое сродство*. И мне думается, что мы здесь находим звено, которое связывает количество того электричества, которое мы выделяем, с количеством электричества, присущего частицам в их естественном состоянии.

853. Поистине удивительно, как мало то количество сложного вещества, которое разлагается определенным количеством электричества. Рассмотрим, например, этот, а также несколько других вопросов по отношению к воде. Для разложения *одного грана* подкисленной для улучшения проводимости воды требуется электрический ток в течение трех и трех четвертей минуты, причем ток этот должен быть достаточно силен, т. е. должен в течение всего этого времени поддерживать в состоянии красного каления окруженную воздухом платиновую прово-

лочку толщиной в $1/104$ дюйма,¹ а при прерывании его в любой точке с помощью острия из древесного угля должен давать очень яркую и постоянную звезду. Обратим внимание на мгновенность разряда электричества напряжения, как это показано в прекрасных опытах г. Уитстона (Wheatstone),² и на то, что я говорил в другом месте о связи между обыкновенным и гальваническим электричеством (371, 375); тогда можно сказать без преувеличения, что требуемое количество электричества равносильно весьма мощной вспышке молнии. И при этом оно находится в нашем полном повиновении; мы можем его освободить, направлять и пользоваться им по желанию; а когда оно совершило всю работу электролиза, разделенными оказываются элементы только *одного грана воды*.

854. С другой стороны, связь между электропроводностью и разложением воды настолько тесна, что одно явление не может происходить без другого. Если воду подвергнуть лишь весьма незначительному изменению, состоящему в переводе ее из жидкого состояния в твердое, то проводимость прекращается, а

¹ Я не указал длины проволоки потому, что нашел из опыта, что она не играет никакой роли, как и следовало ожидать из теории. Одно и то же количество электричества, которое, проходя в течение заданного промежутка времени, может нагреть до красного каления один дюйм платиновой проволоки определенного диаметра, может также нагреть сто, тысячу дюймов и любую длину такой же проволоки, если только условия охлаждения всех участков проволоки одинаковы. Я доказал это с помощью вольт-электромметра. Я нашел, что, независимо от того, сколько дюймов проволоки поддерживалось при некоторой постоянной температуре, соответствующей темнокрасному калению, полдюйма или восемь дюймов, — в равные промежутки времени разлагались равные количества воды. Когда мы берем проволоку в полдюйма, раскаляется только центральная часть ее. Тонкая проволока может даже служить для грубой, но удобной регулировки гальванического тока, так как, если ввести ее в цепь, а более толстые соединительные проволоки сближать или раздвигать таким образом, чтобы отрезок проволоки в цепи поддерживался приблизительно при той же температуре, то проходящий через нее ток почти не будет меняться.

² Literary Gasette, 1833, 1 и 8 марта; Philosophical Magazine, 1833, стр. 2041; l'Institut, 1833, стр. 261.

вместе с ней приостанавливается и разложение. Будем ли мы считать проводимость зависящей от разложения или нет (413, 703), все же связь между этими двумя проявлениями остается тесной и нераздельной.

855. Если иметь в виду эту тесную и двустороннюю связь, а именно, что передача электричества не может происходить без разложения, и что при заданном определенном количестве прошедшего электричества разлагается в равной мере определенное и постоянное количество воды или другого вещества; если иметь в виду, что участвующий в этом агент, т. е. электричество, служит единственно для преодоления электрических сил в подвергаемом его действию веществе, то отсюда с большой вероятностью и почти обязательно вытекает, что проходящее количество электричества *эквивалентно*, а следовательно, и равно количеству электричества разделенных частиц. Иными словами: представим себе ту электрическую силу, которая удерживает в соединении элементы грана воды, т. е. которая заставляет гран кислорода и водорода объединиться в правильных относительных количествах с образованием воды, когда мы их заставляем вступить в соединение; если бы можно было перевести эту силу в состояние *тока*, то последний был бы в точности равен току, требуемому для нового разделения этого грана воды на ее элементы.

856. Такая точка зрения дает почти ошеломляющее представление о чрезвычайном количестве или степени электрической силы, которая по самой их природе присуща частицам материи; однако она ни в какой мере не противоречит тем фактам, которые можно привести по этому вопросу. Для иллюстрации этого я должен сказать несколько слов о гальваническом элементе.¹

¹ Термином «гальванический элемент» я обозначаю такой прибор или приспособление из металлов, которое до сего времени так называлось и которое содержит между своими пластинами воду, рассол, кислоты или другие водные растворы или разложимые вещества (476). В дальнейшем

857. Намереваясь использовать изложенные в этой и предшествующих сериях «Исследований» выводы для подробного изучения источника электричества в гальваническом приборе впоследствии, я воздержался пока от того, чтобы составить себе определенное мнение по этому вопросу; я совершенно не желал утверждать, что металлический контакт или контакт между разнородными проводящими, но не металлическими веществами не имеет ничего общего с происхождением тока; тем не менее, я полностью разделяю мнение Дэви, что, по крайней мере для поддержания тока, требуется химическое действие, и что пополнения, образующие этот ток, почти целиком происходят из этого источника.

858. Те вещества, которые, находясь между металлами гальванического элемента, приводят его в действие, *все являются электролитами* (476); и каждый, кто занимается изучением этого предмета, не может не обратить внимания на то, что в таких веществах (столь существенных для элемента) разложение и прохождение тока чрезвычайно тесно связаны, причем одно не может происходить без другого. Я доказал это более чем достаточно на случае воды и на многочисленных других примерах (402, 476). Если, далее, концы гальванической батареи соединены друг с другом способным разлагаться веществом, какова, например, вода, то мы будем иметь непрерывный ток через прибор, и пока этот последний находится в таком состоянии, то место, где кислота действует на пластины, можно рассматривать как противоположное тому, где ток действует на воду. В обоих местах мы имеем оба условия, неотделимые для таких тел, как эти, а именно: прохождение тока и разложение; и это одинаково справедливо как для элементов батареи, так и для сосуда с водой, ибо до сих пор не было еще построено такой батареи, в которой химическое действие ограничивалось бы одним соеди-

будут, может быть, изобретены другие типы электрических приборов; сам я надеюсь построить такие, которые не будут принадлежать к типу приборов, открытых Вольта,

нением: всегда имеет место и разложение, являясь, как я полагаю, существенной химической частью процесса.

859. Но различие между двумя местами замкнутой батареи — между тем, где происходит разложение, т. е. где проделывается опыт, и теми, которые являются действующими, заключается просто в следующем. Через первую мы пропускаем ток, но он, повидимому, неизбежно сопровождается разложением, а в последних мы вызываем разложение с помощью обычных химических действий (которые, однако, уже сами по себе являются электрическими), следствием чего является электрический ток; и, как в первом случае определенным является разложение, производимое током, так и в последнем случае определенным оказывается ток, связанный с разложением (862 и т. д.).

860. Применим только что изложенное для подкрепления высказанного мною предположения об огромной электрической силе, присущей каждой частице или атому вещества (856). В одной из предшествующих серий настоящих «Исследований», посвященной количественному сравнению обыкновенного и гальванического электричества, я показал, что две проволоки, одна платиновая и другая цинковая, диаметром каждая в одну восемнадцатую дюйма, расположенные друг от друга на расстоянии пяти шестнадцатых дюйма и погруженные на глубину пяти восьмых дюйма в кислоту, состоящую из одной капли купоросного масла и четырех унций дистиллированной воды при температуре около 60° по Фаренгейту, соединенные на других концах медной проволокой в восемнадцать футов длиной и в одну восемнадцатую дюйма толщиной, за время, немногим большее, чем три секунды, выделяли столько же электричества, сколько лейденская батарея, заряженная тридцатью оборотами очень большой и мощной электростатической машины, работающей полным ходом (371). И хотя этого количества достаточно, чтобы при быстром пропускании его через голову крысы или кошки умертвить их, как ударом молнии, тем не менее, оно было создано взаимодействием между столь малым количеством цинковой проволоки и соприкасающейся с ней воды, что потерю в весе, происшедшую

в той и другой, нельзя было бы обнаружить с помощью самых чувствительных наших приборов. Что же касается того количества воды, которое разлагалось этим током, то оно, повидимому, было неощутимо, так как в течение этих трех секунд на поверхности пластины не появлялось никаких следов водорода.

861. Какое же огромное количество электричества требуется, следовательно, для разложения всего одного грана воды! Мы уже видели, что его должно быть достаточно, чтобы в течение трех и трех четвертей минуты (853) поддерживать в состоянии красного каления помещенную в воздухе платиновую проволоку толщиной в $1/104$ дюйма; это количество почти бесконечно превосходит то, которое может дать небольшой обычный гальванический прибор, о котором я только что упоминал (860, 371). Я имел намерение произвести сравнение на основании потери в весе, происшедшей в описанной проволоке за данный промежуток времени и в кислоте, согласно правилам и опыту, которые будут сейчас описаны (862). Однако это отношение настолько велико, что я с трудом решаюсь его назвать. Оказывается, потребовалось бы электричество в количестве, равном 800 000 зарядов такой лейденской батареи, о какой я упоминал выше, чтобы подвести заряд для разложения всего одного грана воды, или, чтобы, если я не ошибаюсь, получить такое количество электричества, какое естественно связано с элементами этого грана воды и сообщает им обнаруживаемое ими взаимное химическое сродство.

862. В качестве дальнейшего подтверждения этого высокого электрического состояния частиц материи, *тождественности того количества электричества, которое им присуще, и того, которое необходимо для их разделения*, я опишу опыт, весьма простой, но чрезвычайно изящный, если рассматривать его с точки зрения образования электрического тока и его разлагающих свойств.

863. Разбавленная серная кислота, полученная добавлением одного объема купоросного масла к тридцати объемам воды, энергично действует на кусок цинковой пластины в ее обычно-

венном простом состоянии; но, как показал г. Стёрджен,¹ почти или совершенно не действует, если поверхность металла предварительно покрыть амальгамой; но этот же амальгамированный цинк сильно действует, если источником служит платина; при этом у поверхности платины выделяется водород, а цинк в то же время окисляется и растворяется. Покрытие амальгамой лучше всего производить, разбрызгивая несколько капель ртути по поверхности цинка, смоченного разбавленной кислотой, и растирая ее пальцами или паклей так, чтобы жидкий металл распространился по всей поверхности. Избыток ртути, образующий на цинке жидкие капли, следует удалить вытиранием.²

864. Две амальгамированные таким образом цинковые пластинки были высушены и точно взвешены. Одна, которую мы назовем *A*, весила 163,1 грана, другая, которую назовем *B*, — 148,3 грана. Они имели примерно пять дюймов в длину и 0,4 дюйма в ширину. Глиняная пневматическая ванна была наполнена разбавленной серной кислотой только что упомянутой (863) крепости, и в нее был опрокинут газовый цилиндр, также наполненный этой кислотой.³ В этот цилиндр была введена платиновая пластинка, которая была почти такой же длины, как цинковые, но примерно в три раза шире. Цинковая пластинка была также введена в этот цилиндр и приведена в соприкосновение с платиной; и в тот же самый момент пластинка *B* была опущена в находящуюся в ванне кислоту, но так, что она не касалась других металлических веществ.

¹ Recent Experimental Researches и т. д., 1830, стр. 74 и т. д.

² Опыт можно произвести с чистым цинком, на который, как химикам известно, разбавленная серная кислота действует слабо по сравнению с обыкновенным цинком, который во время работы подвергается бесчисленным гальваническим действиям. См. об этом De la Rive. Bibliothèque Universelle, 1830, стр. 391.

³ В кислоте был на ночь оставлен небольшой кусок неамальгамированного цинка для того, чтобы удалить воздух, который готов был отделиться, и привести всю кислоту в устойчивое состояние.

865. В сосуде немедленно после того, как цинковая и платиновая пластинки были приведены в соприкосновение, возникало сильное действие. От платины поднимался водород и собирался в сосуде, но ни от одной из цинковых пластин не поднималось ни водорода, ни какого-либо другого газа. По истечении десятидвенадцати минут после того, как было собрано достаточное количество водорода, опыт был приостановлен. Во время хода опыта на пластинке *B* появлялось незначительное количество небольших пузырьков, на пластинке *A* их не было вовсе. Пластинки были промыты дистиллированной водой, высушены и снова взвешены. Пластинка *B*, как и ранее, весила 148,3 грана, ничего не потеряв от непосредственного химического действия кислоты. Пластинка *A* весила 154,65 грана, т. е. во время опыта 8,45 грана ее окислилось и растворилось.

866. Водород был затем переведен в водяную ванну и измерен; количество его достигало 12,5 кубического дюйма, при температуре 52° и барометрическом давлении 29,2 дюйма. Это количество, поправленное на температуру, давление и влажность, оказывается равным 12,15453 кубического дюйма сухого водорода при средних температуре и давлении. Если сюда прибавить половинное количество кислорода, который направился к *аноду*, т. е. к цинку, то для количества кислорода и водорода, выделенных из воды, разложенной электрическим током, получаем число 18,232 кубического дюйма. В соответствии с принятой ранее величиной веса газовой смеси (791) этот объем весит 2,3535544 грана, что и представляет собой вес разложенной воды, а это количество относится к количеству окисленного цинка, т. е. к 8,45, как 9 к 32,31. Поэтому, принимая эквивалент воды равным 9, для эквивалента цинка получаем число 32,5. Совпадение — достаточно близкое для того, дабы показать, что на каждый эквивалент окисленного цинка приходится один эквивалент разложенной воды, что, впрочем, и не могло быть иначе.¹

¹ Опыт был повторен несколько раз с одними и теми же результатами.

867. Рассмотрим теперь, как разлагается вода. Она подвергается электролизу, т. е. разлагается гальванически, а не обычным путем химических разложений, ибо кислород появляется у *анода*, а водород у *катода* разлагаемого вещества, последние же в значительной части опытов отстояли друг от друга больше чем на дюйм. Далее, как это в достаточной мере подтверждается отсутствием действия на пластинку *B*, обыкновенное химическое сродство оказывается недостаточным для того, чтобы произвести при этих условиях разложение воды; гальванический ток был существенно необходим. А чтобы устранить всякую мысль о том, что для разложения воды почти достаточно одного химического сродства, и что при этих условиях и более слабый ток электричества мог бы вызвать перенос водорода к *катоду*, мне достаточно сослаться на приведенные мною (807, 813) результаты, дабы показать, что химическое действие у электродов не оказывает ни малейшего влияния на количество воды или других веществ, разлагаемых между электродами, и что эти количества целиком зависят от количества проходящего электричества.

868. Какое же следствие с необходимостью вытекает из всего этого опыта? А вот какое: химическое действие на 32,31 части, или на один эквивалент цинка, в этой простой гальванической цепи оказалось способным выделить в этой простой цепи электрического тока такое количество электричества, при прохождении которого через воду разложилось бы 9 частей или один эквивалент этого вещества; и если принять во внимание определенные отношения для электричества, как они выявлены в предшествующих частях настоящего доклада, то результаты эти подтверждают, что то количество электричества, которое, будучи естественным образом связано с частицами вещества, сообщает им их способность к соединению — это количество, проявляясь в виде тока, может разделять соответствующие частицы, выводя их из состояния соединения; иными словами, *электричество, которое разлагает определенное количество вещества, равно тому, которое выделяется при разложении того же количества.*

869. Стройность, которую эта теория определенного выделения и эквивалентного определенного действия электричества придает смежным теориям постоянства весовых отношений и электрохимического сродства, необычайно велика. Согласно этой теории, эквивалентные веса тел представляют собой такие количества их, которые содержат равные количества электричества, или же по природе своей обладают равными электрическими свойствами; именно электричество *определяет* эквивалентное число, ибо оно определяет силу, производящую соединение. Иначе: если принять атомную теорию и соответствующие ей выражения, то атомы тел, эквивалентные друг другу в отношении их обычного химического действия, содержат равные количества электричества, естественно связанного с ними. Но я должен сознаться, что я с некоторым подозрением отношусь к термину *атом*, так как хотя об атомах очень легко говорить, но весьма трудно составить себе ясное представление об их природе, особенно когда дело идет о сложных веществах.

870. Я не могу не упомянуть здесь о прекрасной мысли, высказанной, кажется, Берцелиусом (703) при изложении им своих взглядов на электрохимическую теорию сродства, а именно, что тепло и свет, выделяемые при бурных [химических] соединениях, являются следствиями электрического разряда, который в этот момент имеет место. Это представление находится в полном согласии с взглядом, которого придерживаюсь я на *количество* электричества, связанное с частицами вещества.

871. В настоящем изложении закона определенности действия электричества и, соответственно, определенности содержания его в частицах вещества я не претендую на то, чтобы подчинить ему все химические или электрохимические действия; имеется множество соображений теоретического характера, относящихся особенно к сложным частицам вещества и к результирующим электрическим силам, которыми они должны обладать, и я надеюсь, что со временем они получат дальнейшее развитие. Существует множество экспериментальных фактов, как, например, соединения, образуемые слабым химическим

сродством, одновременное разложение воды и солей и т. д., которые все еще нуждаются в изучении. Однако, каковы бы ни были выводы в отношении этих и многих других пунктов, я не думаю, чтобы выдвинутые мною факты или выведенные из них общие законы претерпели какое-либо существенное изменение. Между тем, они являются достаточно важными, чтобы оправдать опубликование их, хотя многое, может быть, еще остается несовершенным или недоделанным. В самом деле, большим преимуществом нашей науки — *химии* — является то, что всякий успех ее, — все равно, большой или малый, — не исчерпывает предмета исследований, а, напротив, открывает пути к дальнейшему, более обширному знанию, полному пользы и красоты, для всех тех, кто готов взять на себя тяжелый труд экспериментальных исследований.

872. Эта определенность образования электричества (868), в связи с определенностью же его действия, доказывает, я полагаю, что ток электричества в гальваническом элементе поддерживается химическим разложением, или, вернее, химическим действием, а не только контактом. Однако здесь, как и в другом месте (857), я прошу разрешения не высказывать своего мнения относительно истинного действия контакта, так как я еще не смог уяснить себе, является ли последний причиной, возбуждающей ток, или же он необходим только для того, чтобы дать возможность созданному другим путем электричеству проходить от одного металла к другому.

873. Но если допустить, что источником электричества является химическое действие, то какую же бесконечно малую долю электричества, которое является действующим, мы получаем и используем в наших гальванических батареях! Цинковая и платиновая проволоочки, каждая диаметром в одну восемнадцатую дюйма и примерно в полдюйма длиной, погруженные в разбавленную серную кислоту, настолько слабую, что на язык кислотность не ощутима и едва-едва действует на наши наиболее чувствительные реактивные бумажки, за одну двадцатую минуты (860) выделяют электричества больше, чем кто-

либо согласился бы добровольно пропустить сразу через свое тело. Химическое действие одного грана воды на четыре грана цинка может выделить столько же электричества, сколько сильная гроза (869, 861). Справедливо не только то, что это количество является действующим; его можно направить и заставить полностью совершить эквивалентную работу (867 и т. д.). А если так, то неужели у нас нет больших оснований надеяться и верить, что с помощью более тщательного *экспериментального* исследования принципов, управляющих образованием и действием этого тончайшего агента, мы окажемся в состоянии увеличить силу наших батарей или изобретем новые приборы, которые в тысячи раз превзойдут по энергии те, которыми мы располагаем в настоящее время?

874. Здесь я должен на время оставить рассмотрение *определенности химического действия электричества*; но прежде чем закончить эту серию экспериментальных исследований, я напому, что в одной из предыдущих серий мною показано, что ток электричества является *определенным и по своему магнитному действию* (216, 366, 367, 376, 377). И хотя этот вывод не был подробно рассмотрен, но у меня нет сомнений в том, что успех, достигнутый мной при исследовании химических действий, не больше того, который бы получился при изучении магнитных явлений.

Королевский институт.

31 декабря 1833 г.

ВОСЬМАЯ СЕРИЯ

Раздел 14. Об электричестве гальванического элемента; его источник, количество, напряжение и основные свойства его. Глава I. О простых гальванических цепях. Глава II. О напряжении, необходимом для электролиза. Глава III. О составных гальванических цепях, или гальванической батарее. Глава IV. О сопротивлении электролита электролитическому действию и о введении промежуточных пластин. Глава V. Общие замечания о гальванической батарее в действии.

Поступило 7 апреля. — Доложено 5 июня 1834 г.

РАЗДЕЛ 14

Об электричестве гальванического элемента; его источник, количество и основные свойства его

ГЛАВА I

О простых гальванических цепях

875. Важный вопрос об источнике электричества в гальваническом элементе привлекал к себе внимание стольких выдающихся ученых, что всякий непредубежденный человек, способный оценить их, хотя бы он и не изучал этого вопроса, вероятно, пришел бы к заключению, что истина где-либо уже обнаружена. Однако, если бы, следуя этому впечатлению, он стал сопоставлять имеющиеся выводы и заключения, то встретил бы такие противоречивые показания, такое колебание во мнениях, такие различия и такую сложность теорий, что остался бы в полном сомнении, что же следует считать истинным объяснением при-

роды; он вынужден был бы взять на себя труд повторить и пересмотреть факты, а затем руководиться лучше собственным суждением, а не суждением других.

876. В глазах лиц, которые составили себе мнение по данному предмету, описанное состояние вопроса должно служить оправданием тому; что я занялся его исследованием. Принятые мною взгляды об определенности действия электричества в разлагаемых телах (783) и о равенстве между прилагаемой для этого силой и силой, которую надлежит преодолеть (855), были основаны не просто на личном мнении или общем представлении, а на фактах, которые, будучи совершенно новыми, мне представлялись точными и решающими; эти факты представляли, как мне казалось, такие преимущества при изучении этого вопроса, каких до сих пор не было ни у кого, и они, думается, могли бы склонить в мою сторону чашу весов, несмотря на большую ясность и силу ума, которыми обладают другие. Таковы соображения, в силу которых я полагал, что смогу оказать помощь в решении этого вопроса, а также быть полезным в смысле устранения неточных знаний. Такие неточные знания представляют собой ранний рассвет всякой идущей вперед науки и являются существенными для ее развития; но человек, который занимается тем, что рассеивает то, что здесь обманчиво, и с большей ясностью вскрывает то, что истинно, так же полезен на своем месте и так же необходим для общего прогресса науки, как и тот, кто первый перешагнул через умственные потемки и открыл пути к знанию, до тех пор человечеству неизвестные.

877. Тожественность силы, составляющей гальванический ток, или иначе электрический агент, и той силы, которая удерживает в соединении элементы электролита (855), другими словами — силы химического средства, указывала на то, что самое электричество гальванического элемента представляет лишь форму проявления, обнаружения или существования *истинного химического действия*, или, вернее, его причины. Я поэтому уже говорил о своем согласии с теми, кто полагает, что *источником* электричества являются химические силы (857).

878. Однако важный вопрос о том, чем обусловлено электричество первоначально: металлическим контактом или химическим действием, т. е. что из двух, первое или второе, создает и определяет ток, — этот вопрос все еще оставался для меня под сомнением. Простой и изящный опыт с амальгамированным цинком и платиной, результаты которого мною подробно описаны (863 и т. д.), не решил этого вопроса, ибо в этом опыте химическое действие не имеет места без контакта между металлами, а металлический контакт не действует без химического действия. Следовательно, и то и другое одинаково можно рассматривать, как *определяющую* причину тока.

879. Чтобы произвольно не допустить ложных выводов, я считал существенным решить этот вопрос с помощью самых простых форм приборов и опытов. Казалось, что известная трудность, наблюдаемая при попытке произвести разложение с помощью одной пары пластин (за исключением разложения жидкости, возбуждающей их действие (863)), ставит на пути таких опытов непреодолимые препятствия. Однако я вспомнил легкость, с которой разлагается раствор иодида калия (316); я не усматривал при этом теоретических оснований к тому, почему бы, если металлический контакт *не является существенным*, не получить без него истинного электролиза даже в простейшей цепи; поэтому я продолжал упорствовать и добился успеха.

880. Цинковая пластина, дюймов восемь длиной и полдюйма шириной была очищена и согнута в середине под прямым углом (рис. 74, *a*). Платиновая пластинка, дюйма три длиной и полдюйма шириной, была прикреплена к платиновой проволоке, изогнутой, как указано на рисунке, *b*. Эти два куска металла были расположены по отношению друг к другу, как изображено на рисунке, но сначала без сосуда *c* и его содержимого, которое состояло из разбавленной серной кислоты, смешанной с небольшим количеством азотной кислоты. В точке *x* на цинковую пластину был положен кусочек сложенной про-

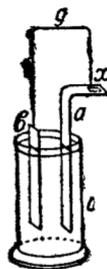


Рис. 74.

мокательной бумаги, смоченной в растворе иодида калия; он был прижат к ней концом платиновой проволоки. Когда при таких условиях пластины были погружены в кислоту в сосуде *c*, то около *x* немедленно возникало действие, причем иодид разлагался, и у *анода* (663), т. е. против конца платиновой проволоки, появлялся иод.

881. До тех пор, пока нижние концы пластин оставались в кислоте, электрический ток продолжался, и у *x* происходило разложение. При перемещении конца проволоки по бумаге эффект получался явно очень сильный. А если поместить между белой бумажкой и цинком кусочек куркумовой бумажки и обе бумажки смочить раствором иодида калия, у *катода* (663) против цинка выделяется щелочь в количестве, соответствующем выделению иода у *анода*. Следовательно, разложение являлось совершенно полярным и определенно зависело от тока электричества, проходящего от цинка к платине через кислоту в сосуде *c* и обратно от платины к цинку через раствор на бумажке *x*.

882. Что разложение у *x* представляло собой настоящее электролитическое действие, вызываемое током, который возник вследствие существующих в сосуде *c* условий, что это разложение не было обусловлено просто каким-либо непосредственным химическим действием цинка или платины на иодид или, может быть, каким-то *током*, который образуется у *x* под действием раствора иодида калия на эти металлы, — это было доказано прежде всего тем, что при вынимании *пластинок из сосуда c* и кислоты всякое разложение у *x* прекращалось, и далее тем, что при соединении металлов друг с другом, в самой кислоте или вне ее, разложение у *x* происходило, но в *обратном порядке*: теперь щелочь появлялась против конца платиновой проволоки, а иод проходил к цинку, причем ток был направлен противоположно току в первом случае и создавался непосредственно различием в действии раствора на бумаге на оба металла. Иод, конечно, *соединялся* с цинком.

883. Когда опыт производился с кусками цинка, амальгамированного по всей поверхности (863), то результаты получа-

лись с такой же легкостью и в том же направлении даже тогда, когда сосуд *c* содержал одну только разбавленную серную кислоту (рис. 74) (880). Какой бы конец цинка ни погружали в кислоту, действия все же оставались одинаковыми. Если на момент предположить, что ртуть дает здесь металлический контакт, то, когда мы изменяем направление амальгамированного куска, это возражение отпадает. Пользование же *неамальгамированным цинком* (880) устраняет *всякое сомнение*.¹

884. Когда для других целей (930) сосуд *c* вместо кислоты был наполнен раствором едкого кали, то результаты все же оставались прежние. Разложение иодида происходило легко, хотя не было контакта разнородных металлов, и ток электричества имел *такое же направление*, как при кислоте в месте возбуждения.

885. Даже раствор простой поваренной соли в сосуде *c* мог производить все эти действия.

886. При введении в цепь тока между платиновой пластинкой и местом разложения *x* гальванометра, изготовленного из платиновых проволок, последний обнаруживал действие и при этом указывал токи того же самого направления, как и те, на существование которых указывало химическое действие.

¹ Можно произвести вышеупомянутый элементарный опыт еще более поразительным способом, а именно: надо приготовить цинковую пластинку в десять или двенадцать дюймов длиной и два дюйма шириной, и основательно ее очистить; изготовить также два диска из очищенной платины примерно полтора дюйма диаметром; погрузить три или четыре слоя промокательной бумаги в крепкий раствор иодида калия, поместить их на очищенный цинк на одном конце пластины и положить на них один из платиновых дисков; наконец, погрузить такие же слои бумаги или же кусок льняного полотна в смесь равных частей азотной кислоты и воды и поместить их на другом конце цинковой пластинки со вторым платиновым диском поверх их. При таком положении вещей никакого изменения в растворе иодида не будет заметно; но если на одну-две секунды соединить оба диска платиновой (или какой-либо другой) проволокой, а затем приподнять тот диск, который приходится над иодидом, то окажется, что вся поверхность под ним сильно окрашивается *выделяющимся иодом*. Дек. 1838 г.

887. При общем рассмотрении этих результатов они приводят к весьма важным заключениям. Во-первых, они самым решительным образом доказывают, что *для создания гальванического тока металлический контакт вовсе не нужен*. Во-вторых, они указывают на весьма замечательную взаимную связь между силами химического сродства той жидкости, которая *возбуждает ток*, и той, которая им *разлагается*.

888. Для простоты рассмотрим опыт с амальгамированным цинком. Обработанный таким образом металл не проявляет никакого действия до тех пор, пока не будет пропущен ток; в то же время он не вводит никакого нового действия, а только устраняет такие влияния, которые не имеют ничего общего



Рис. 75.



Рис. 76.

ни с возбуждением, ни с действиями рассматриваемого электрического тока (1000) и своим наличием могут лишь затемнять результаты.

889. Поместим параллельно друг другу (рис. 75) две пластинки, одну из амальгамированного цинка, а другую — платиновую, и введем между ними на одном конце каплю разбавленной серной кислоты *y*; в этом месте не будет заметного химического действия, если только обе пластины не соединить друг с другом где-нибудь в другом месте, например *y PZ*, телом, способным проводить электричество. Если это вещество представляет собой металл или некоторую модификацию углерода, то ток проходит, и так как он замыкается через жидкость *y u*, то происходит разложение.

890. Удалим теперь кислоту из *y* и введем в точке *x* (рис. 76) каплю раствора иодида калия. Тогда происходит совершенно тот же ряд явлений с той лишь разницей, что если теперь произвести металлическое соединение *y PZ*, электрический ток имеет направление, противоположное прежнему, как это изобра-

жено стрелками, указывающими направление этих токов (667).

891. Оба служившие для опытов раствора представляют собой проводники, но проводимость их существенно связана с разложением (858) в некотором постоянном порядке, и поэтому появление элементов на определенных местах *указывает*, в каком направлении проходил ток при такой работе раствора. Мало того, оказывается, что если эти два раствора поместить на противоположных концах пластинок, как в последних двух опытах (889, 890), а металлическое соединение произвести на других двух концах, то токи пройдут в противоположном направлении. Очевидно, значит, что мы имеем возможность противопоставлять друг другу на разных концах пластинок действия двух жидкостей, пользуясь каждой из них в качестве проводника

для замыкания того тока электричества, который другая стремится произвести; этим фактически мы заменяем металлический контакт и объединяем оба опыта в один (рис. 77). При таких обстоятельствах здесь две силы противодействуют одна другой: та жидкость (в данном случае разбавленная кислота), которая проявляет более сильное химическое средство по отношению к цинку, преодолевает силу другой и определяет образование и направление электрического тока; она не только заставляет этот ток проходить через более слабую жидкость, но фактически направляет в обратную сторону то стремление, которое элементы второй жидкости имеют по отношению к цинку и платине при отсутствии такого противодействия; она вынуждает их следовать в направлении, обратном тому, в котором они были склонны перемещаться, для того, чтобы созданный первой жидкостью ток мог двигаться свободно. Если устранить преобладающее действие у у, сделав там металлический контакт, то жидкость у х восстанавливает свою способность; если же не приводить металлы в соприкосновение в у, а ослаблять там силы химического средства раствора, усиливая в то же время

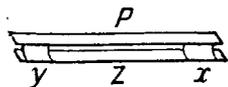


Рис. 77.

сродство, действующее у x , то последнее берет верх и разложения идут в обратном порядке.

892. Прежде чем делать *окончательные* выводы из этой взаимной зависимости и из характера химического сродства двух отдельных порций действующих жидкостей (916), я займусь более подробным рассмотрением тех разнообразных условий, при которых отчетливо выявляется обратное действие претерпевающего разложение вещества на действие того также разлагаемого вещества, которое производит гальванический ток.

893. Теперь становится совершенно ясно, почему мы пользуемся металлическим контактом в случае применения одной пары пластинок, и в чем заключается значительное превосходство его над контактом, который можно было бы произвести помощью других видов вещества. При погружении в разбавленную серную кислоту амальгамированной цинковой пластинки сила химического сродства, действующая между металлом и жидкостью, недостаточна для того, чтобы произвести заметное действие у поверхностей соприкосновения и вызвать разложение воды путем окисления металла, хотя она и *достаточна* для того, чтобы создать такое состояние электричества (или силы, от которой зависит химическое сродство), которое вызвало бы ток, если бы для него был открыт путь (916, 956); и этот ток дополнил бы условия, необходимые при этих обстоятельствах для разложения воды.

894. Наличие куска платины, соприкасающегося как с цинком, так и с подлежащей разложению жидкостью, создает этот необходимый для электричества путь. *Непосредственное сообщение* платины с цинком значительно более эффективно, чем всякое другое соединение ее с тем же металлом (т. е. платины с цинком), произведенное с помощью разложимых проводящих тел или, другими словами, *электролитов*, как в уже описанных (891) опытах; и в самом деле, если пользоваться электролитами, силы химического сродства между ними и цинком производят действие обратное и противоположное тому, которое имеет место в разбавленной серной кислоте; если даже это дей-

ствие мало, то все же необходимо преодолеть сродство между составляющими их частями, так как они не могут проводить электричество, не претерпевая разложения, а *экспериментально* найдено, что это разложение противодействует силам, которые стремятся создать в кислоте ток (904, 910 и т. д.), а во многих случаях нейтрализуют их полностью. Там, где имеется непосредственный контакт между цинком и платиной, эти вредные силы не действуют, что сильно благоприятствует произведению и прохождению электрического тока и сопутствующему ему явлению разложения.

895. Однако очевидно, что одно из этих вредных действий может быть устранено и, тем не менее, для замыкания цепи между цинком и платиной, погруженными на некотором расстоянии друг от друга в разбавленную кислоту, может быть взят электролит. В самом деле, если на рис. 74 в точке x поддерживать металлический контакт между платиновой проволокой и цинковой пластинкой a , а где-нибудь, например, в g , платину разрезать и поместить там раствор иодида, то последний, находясь в контакте с платиной у обеих поверхностей, не обнаруживает сил химического сродства к этому металлу, а если и обнаруживает, то они оказываются одинаковыми на обеих сторонах. Поэтому раствор лишается способности создавать ток, противоположный току, который обусловлен действием кислоты в сосуде c ; тогда единственным препятствием, которое приходится преодолевать силам химического сродства в разбавленной серной кислоте, является сопротивление раствора разложению.

896. Так обстоит дело в случае одной пары действующих пластин, когда замыкается *металлический контакт*. В таких случаях силам химического сродства, действующим в сосуде c , приходится преодолевать только одну систему противодействующих сил; когда же металлический контакт отсутствует, тогда противодействующие силы химического сродства (894), которые нужно преодолеть, проявляются в двух местах.

897. Разложение веществ с помощью тока от одной пары пластин считалось вещью трудной, а некоторыми и невозмож-

ной, даже в том случае, когда эта пара пластин достаточно сильна для того, чтобы нагревать до красного каления металлические стержни; так дело обстоит в случае калориметра Гейра (Hare), устроенного в виде простой гальванической цепи, или в случае одной сильной пары металлов по Волластону. Эта трудность неизбежно вытекала из антагонизма между химическим средством, производящим ток, и тем химическим средством, которое подлежит преодолению; она целиком зависит от их относительной силы. В самом деле, когда одна совокупность сил превосходит другую на некоторую определенную величину, то первые силы получают перевес, определяют собой ток и преодолевают вторые силы настолько, что вещество, в котором эти последние проявляются, начинает выделять входящие в его состав элементы в полном соответствии (в смысле как направления, так и количества) с поведением тех веществ, которые обнаруживают наиболее сильное и преобладающее действие.

898. Часто веществом, разложением которого пользовались как химическим индикатором прохождения электрического тока, служила вода. Однако теперь я понял причину непригодности воды для этого, а равно причину наблюдавшегося мною гораздо ранее (315, 316) факта, который относится к иодиду калия, а именно: вещества различаются по той легкости, с которой они разлагаются данным электрическим током в соответствии с состоянием и интенсивностью сил их обычного химического средства. Причина этого лежала в их *противодействии силам химического средства*, стремящимся создать ток; и представлялось вероятным, что существует множество веществ, которые могли бы быть разложены током от одной пары пластин, цинковой и платиновой, погруженных в разбавленную серную кислоту, хотя вода и сопротивляется его действию. Вскоре я установил, что это действительно так; произведенные мною опыты дают новые и красивые доказательства непосредственной связи, с одной стороны, и противодействия, с другой стороны, сил химического средства, участвующих в создании потока электричества и сопротивляющихся ему; поэтому я вкратце их опишу.

899. Устройство прибора изображено на рис. 78. Сосуд v содержал разбавленную серную кислоту; z и p — цинковая и платиновая пластины; a , b и c — платиновые проволоки; разложение происходило в x , а в точке g в цепь иногда, вернее почти всегда, вводился гальванометр; на рисунке показано только его местоположение, и кружок не соответствует размерам прибора. В точке x помещались различные приспособления в соответствии с видом разложения, которое нужно было произвести. Если предполагалось действовать на одну лишь каплю жидкости, то оба конца проволоки просто погружались в нее;

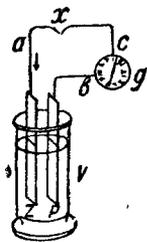


Рис. 78.

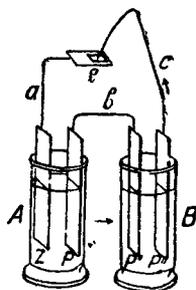


Рис. 79.

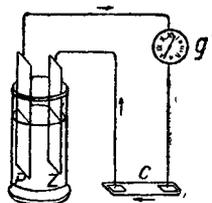


Рис. 80.

если надо было разложить раствор, содержащийся в порах бумаги, то один из концов соединялся с платиновой пластинкой, на которой находилась бумажка, а другой лежал на бумаге e (рис. 79); иногда, как, например, при опытах с сульфатом натра, на платиновую пластинку клали два кусочка бумаги, на каждом из которых лежало по одному концу проволоки (см. c на рис. 80). Стрелками изображено направление электрического тока (667).

900. Если поместить раствор *иодида калия* в смоченной бумажке в месте разрыва цепи в точке x , он быстро разлагается: у *анода* разлагаемого вещества выделяется иод, а у *катода* — щелочь.

901. *Протохлорид олова*, будучи расплавлен и помещен в x , также быстро разлагался, выделяя перхлорид олова у *анода* (779) и олово — у *катода*.

902. Помещенный в x расплавленный хлорид серебра тоже легко разлагался; у *анода* выделялся хлор, а у *катода* — блестящее металлическое серебро, либо в виде пленок на поверхности жидкости, либо под ней в виде кристаллов.

903. Подкисленная серной кислотой вода, раствор соляной кислоты, раствор сульфата натрия, плавленная селитра и плавленные хлорид и иодид свинца не разлагались от одной пары пластин, возбуждаемой только разбавленной серной кислотой.

904. Эти опыты в достаточной мере доказывают, что одна пара пластин может производить электролиз веществ и разделять входящие в состав последних элементы. Опыты эти, кроме того, прекрасно иллюстрируют непосредственную связь и противодействие сил химического средства в двух точках их приложения. В тех случаях, когда сумма противодействующих [разложению] в точке x сил химического средства была достаточно мала по сравнению с суммой сил, действующих в сосуде y , разложение происходило; в тех же случаях, когда первые возрастали, начинало на деле проявляться сопротивление разложению, и ток переставал проходить (891).

905. Но очевидно, что сумму сил химического средства, действующих в сосуде y , можно увеличить, пользуясь другими жидкостями вместо разбавленной серной кислоты, так как в последнем случае, я полагаю, создание электрического тока обусловлено только химическим средством цинка к кислороду, уже соединенному с водородом воды (919); защищаемая мною точка зрения приводит к заключению, что при таком увеличении сил химического средства вещества, которые в предшествующих опытах сопротивлялись разложению, теперь будут разлагаться вследствие увеличения разницы между повышенными таким образом действующими силами средства и силами средства, присущими им самим. Это предсказание получило свое полное подтверждение следующим образом.

906. К жидкости в сосуде y было добавлено немного азотной кислоты; при этом получилась смесь, которую я буду называть разбавленной азотно-серной кислотой. При повторении

опытов с такой смесью все те вещества, которые ранее разлагались, распадались вновь, и *притом со значительно большей легкостью. Но, кроме того, теперь* выделяли входящие в их состав элементы многие вещества, которые раньше не поддавались электролизу. Так, раствор сульфата натрия, подвергавшийся действию в порах лакмусовой и куркумовой бумажек, выделял кислоту у *анода* и щелочь у *катода*; раствор соляной кислоты, окрашенной индиго, выделял хлор у *анода* и водород у *катода*; раствор нитрата серебра выделял у *катода* серебро. Расплавленная селитра и расплавленные иодид и хлорид свинца также разлагались током от этой одной пары пластин, хотя в упомянутом ранее случае (903) они не разлагались.

907. Раствор ацетата свинца этой парой пластин, повидному, не разлагался; подкисленная серной кислотой вода сначала, повидному, тоже не поддавалась (973) действию тока.

908. Повышение напряжения или мощности тока, создаваемого простой гальванической цепью при увеличении силы химического действия в месте возбуждения, выступает здесь с достаточной очевидностью. Однако, чтобы пояснить это еще лучше и показать, что в последних случаях разлагающее действие зависело вовсе не от одной только возможности получения больших количеств электричества, были произведены опыты, в которых количество выделяемого электричества можно было увеличивать, не меняя напряжения возбуждающей причины. Так, опыты с разбавленной серной кислотой (899) были повторены с погружением в кислоту цинковой и платиновой пластинок большого размера, и все же те вещества, которые раньше сопротивлялись разложению, сопротивлялись ему и при новых условиях. Далее, в опытах с азотно-серной кислотой (906) в возбуждающую кислоту были погружены просто платиновая и цинковая проволоки, и все же в этом случае, несмотря на такое изменение, происходил распад веществ, сопротивлявшихся любому току, который можно было получить действием разбавленной серной кислоты. Например, соляную кислоту не удавалось разложить одной парой пластин, если их погружали

в разбавленную серную кислоту. Делая раствор серной кислоты более крепким, увеличивая размеры погруженных в нее цинковой и платиновой пластинок, мы не усиливаем разлагающую силу; но если к слабой серной кислоте добавить немного азотной, то получающееся электричество было в силах разложить соляную кислоту, выделяя хлор у *анода* и водород у *катода*, даже когда электродами служили металлические проволоки. Этот способ повышения напряжения электрического тока исключает эффект, зависящий от увеличения числа пар пластин, и то действие, которое получается, если делать ту или иную кислоту покрепче и послабее; поэтому его можно сразу отнести за счет состояния и величины вызываемых в этом случае сил химического сродства и принимать, что он как теоретически, так и практически совершенно отличен от всякого другого способа.

909. Мы получили таким образом опытным путем непосредственную связь между *интенсивностью* [напряжением] электрического тока в простой гальванической цепи и *интенсивностью* химического действия, развивающегося в том месте, в котором определяется существование и направление этого тока; это приводит к следующему заключению: мы можем подбирать вещества, как, например, расплавленные хлориды, соли, растворы кислот и т. п., которые могут действовать на взятые металлы с различной степенью химической силы; мы можем брать для опытов различные металлы с платиной или каким-либо другим металлом, выбирая их так, чтобы они различались по степени химического действия их на возбуждающую жидкость или электролит; тогда мы можем получить ряд сравнительно постоянных действий, производимых электрическими токами различного напряжения; и эти действия дадут нам возможность построить шкалу, при помощи которой можно будет точно определить при дальнейших исследованиях относительную степень напряжения.¹

¹ В связи с этим различием и его вероятной причиной см. соображения об индуктивной поляризации (п. 1354 и т. д.). Дек. 1838 г.

910. Я уже высказывал взгляд, что разложение в экспериментальной жидкости является прямым следствием более могущественного проявления в другом месте такой же силы, как и та, которая должна быть преодолена, т. е. является результатом антагонизма между силами *одного* и *того же* рода (891, 904). Силы в месте разложения оказывают противодействие совокупности действующих или определяющих сил, пропорциональное тому, которое требуется для преодоления их собственной силы; отсюда любопытный результат — *сопротивление*, которое разложение представляет начальной, определяющей ток силе, а, следовательно, и току. Это отчетливо видно в тех случаях, когда такие вещества, как хлорид свинца, иодид свинца и вода, не разлагались током, создаваемым одной парой цинковой и платиновой пластин в серной кислоте (903), хотя они и разлагались током более высокого напряжения, создаваемым более могущественными химическими силами. В таких случаях не проходит заметного тока (967), действие приостанавливается; и относительно описанного мною в четвертой серии настоящих исследований (413) закона проводимости я теперь придерживаюсь мнения, что вещества, которые являются электролитами в жидком состоянии, перестают быть таковыми в твердом состоянии потому, что притяжение частиц, в силу которого последние удерживаются в соединении и сохраняют свое относительное положение, оказывается тогда слишком сильным для электрического тока.¹ Частицы остаются на своих местах, и, поскольку разложение предотвращено, постольку предотвращена также и передача электричества; и если даже батарея, которую мы заставим действовать, будет состоять из многих пар пластин и если она будет такого совершенного вида, что в ней будут невозможны никакие сторонние или побочные действия (1000), все вместе взятые силы химического сродства, принимающие участие в действии батареи, окажутся в тот же момент приостановленными и уравновешенными.

¹ См. дальше, п. 1705. Дек. 1838 г.

911. Обратимся теперь к вопросу о сопротивлении в каждом отдельном случае. Это сопротивление изменяется в зависимости от сил сродства, которые стремятся удержать на месте элементы данного вещества. Казалось бы поэтому, что те частные значения, которые могут иметь сопротивления, расположатся в целый ряд величин, посредством которых можно измерять начальное напряжение простых гальванических и других электрических токов; в соединении со шкалой напряжений, определяемых величиной *действующих сил*, они образуют ряд разностей, который, по всей вероятности, окажется достаточным, чтобы можно было приложить его к каждому представляющему важность случаю, когда понадобится знать величину напряжения.

912. На основании опытов, которые я имел случай произвести ранее, я считаю, что нижепоименованные вещества располагаются по электролизуемости в том порядке, в котором я их поставил, так что каждое предшествующее вещество разлагается током более низкого напряжения, чем последующее. Токи эти всегда брались от одной пары пластин, и их можно принимать за элементарные *гальванические силы*:

Иодид калия (раствор)	} в расплавленном состоянии
Хлорид серебра	
Прото-хлорид олова	
Хлорид свинца	
Иодид свинца	
Соляная кислота (раствор)	
Вода, подкисленная серной кислотой	

913. При всех попытках определения того относительного электролитического напряжения, которое требуется для разложения, необходимо обращать внимание на природу электродов и других присутствующих веществ, которые могут благоприятствовать вторичным действиям (986). Если какой-либо из элементов, выделенных при электроразложении, обладает химическим сродством к электроду или к имеющимся в окружающей жидкости веществам, то сопротивляющееся разложению химическое сродство отчасти уравнивается этой силой, и нельзя

определить истинное место данного электролита в таблице данного выше типа. Так, хлор легко соединяется с положительным платиновым электродом, а иод почти совсем не соединяется; я полагаю, что именно поэтому плавленные хлориды стоят в предшествующей таблице раньше. С другой стороны, если при разложении воды имеется не только серная, но и немного азотной кислоты, то вода разлагается с большей легкостью, так как водород у катода в конце концов не изгоняется, а встречает в азотной кислоте кислород, с которым он может вступить в соединение, образуя вторичный продукт; таким путем химическое сродство, препятствующее разложению, оказывается ослабленным, и тогда элементы воды могут быть разделены током более низкой интенсивности.

914. Этим принципом можно воспользоваться для внесения, путем интерполяции, в уже упомянутую шкалу начальных напряжений (909, 911) более мелких подразделений, чем те, которые там указаны; в самом деле, комбинируя действие тока *постоянного* напряжения и электроды, состоящие из вещества, обладающего большим или меньшим сродством к выделяемому при разложении электролита веществом, можно получить *разнообразные промежуточные* подразделения.

915. Вернемся к рассмотрению источника электричества (878 и т. д.); имеется еще одно прекрасное доказательство в пользу того, что металлический контакт не играет никакой роли в создании электричества в гальванической цепи, и далее, что электричество есть лишь особая форма проявления химических сил. Это доказательство заключается в том, что ранее, чем производится контакт между металлами, действием одних химических сил, проскакивает электрическая искра. Этот опыт будет описан дальше (956); он состоит в получении искры при замыкании контакта между цинковой и медной пластинами, погруженными в разбавленную серную кислоту. Чтобы сделать установку возможно более простой, я опустил ртутные поверхности, а контакт производился с помощью медной проволоки, соеди-

ненной с медной пластиной; эта проволока приводилась в соприкосновение с зачищенным участком цинковой пластины. Появлялась электрическая искра, и она, естественно, должна была существовать и проскочить прежде, чем коснулись друг друга цинк и медь.

916. Чтобы сделать более отчетливыми те положения, которые я хотел установить, снова изложу их в их простейшей форме, согласно с моими теперешними представлениями. Ни для возникновения, ни для дальнейшего существования электричества гальванического элемента (856, примечание) не имеет значения существование контакта между двумя металлами (880, 915). Электричество целиком обусловлено химическим действием (882), и напряжение его пропорционально интенсивности сил химического сродства, участвующих в его создании (908); количество же электричества пропорционально количеству вещества, которое химически действовало во время его образования (869). Эта определенность при создании электричества является, в свою очередь, одним из наиболее ярких доказательств химического происхождения электричества.

917. Подобно тому как *вольта-электрическое возбуждение электричества* представляет собой пример простого химического действия, так и *вольта-электрическое разложение* есть простой случай перевеса одной, более мощной по своей природе, системы сил химического сродства над другой, менее мощной. И если иметь в виду пример двух противодействующих систем таких сил (891) и учесть их взаимную связь и зависимость, то не представляется необходимым пользоваться в таких случаях какими-либо иными терминами, кроме химического сродства (хотя термин электричество может быть весьма подходящим), и не надо предполагать, что в создании этих результатов участвует какой-либо новый агент. В самом деле, мы можем принимать, что эти силы в двух местах действия находятся в непосредственном общении и уравнивают друг друга через металлическую среду (891) (рис. 77), подобно тому, как механические силы уравнивают друг друга при посредстве рычага (1031).

918. Все факты показывают нам, что сила, обычно называемая химическим сродством, может передаваться на расстояние через металлы и некоторые виды углерода, что электрический ток является лишь иной формой сил химического сродства, что сила его пропорциональна создающему его химическому сродству, что, когда сила его недостаточна, ее можно увеличить с помощью химического действия, и тогда недостаток одного восполняется некоторым эквивалентом другого, иными словами, что *силы, называемые химическим сродством и электричеством, представляют собой одно и то же.*

919. При изучении и сравнении обстоятельств, связанных с получением электричества в обыкновенной гальванической цепи, оказывается, что источник этого агента, — всегда подразумеваемая под этим электричество, циркулирующее и замыкающее ток в гальваническом приборе и сообщаемое прибору его силу и особенности (947, 996), — заключается в химическом действии, имеющем место непосредственно между металлом и веществом, с которым последний соединяется, а отнюдь не в последующем взаимодействии образовавшегося таким образом вещества с присутствующей кислотой.¹ Так, если взять цинк, платину и разбавленную серную кислоту, ток определяется соединением цинка с кислородом воды; и хотя присутствие кислоты существенно для удаления образующегося окисла, — так, чтобы дальнейшая порция цинка могла подействовать на дальнейшую порцию воды, но соединение ее с окислом не создает заметной части циркулирующего в цепи тока электричества. В самом деле, количество электричества зависит от количества окисленного цинка и находится с ним в определенном отношении; интенсивность его [напряжение] соответствует интенсивности химического сродства цинка к кислороду при данных условиях; на нее почти, или даже вовсе, не влияет, какой кислотой мы будем пользоваться: крепкой или слабой (908).

¹ Wollaston, Philosophical Transactions, 1801, стр. 427.

920. Далее, если мы возьмем цинк, платину и соляную кислоту, электричество, по всем видимостям, будет зависеть от сродства цинка к хлору и циркулирует в точном соответствии с числом соединяющихся частиц цинка и хлора, будучи фактически им эквивалентно.

921. Но если принять за причину и источник электрического тока это окисление или иное непосредственное действие на самый металл, то чрезвычайно важно отметить, что кислород (или другое вещество) должен находиться в особом состоянии, а именно в состоянии *соединения*, с таким дальнейшим ограничением, что он должен находиться в таком соединении и в таких относительных количествах, какие соответствуют *электролиту* (823). Нельзя расположить в газообразном кислороде пару пластин, цинковую и платиновую, и ждать чтобы она производила при этом ток электричества и действовала, как гальванический элемент; недостаточно и повысить температуру настолько, что окисление цинка произойдет быстрее, чем в случае, если эта пара пластин будет погружена в разбавленную серную кислоту; это потому, что кислород не представляет собой составной части электролита и, значит, не может проводить эти силы далее ни посредством разложения, ни просто через свое вещество, как это делают металлы. Если кого-либо смущает еще газообразное состояние кислорода, то можно взять жидкий хлор. Соединяясь с цинком, хлор все же не может возбудить ток электричества через две пластины, потому что частицы его не могут переносить к платине электричество, проявляющееся в месте соединения. Хлор сам по себе не является проводником электричества, подобно металлам; с другой стороны, он не представляет собой и электролита, способного проводить электричество во время разложения, а потому в определенном месте происходит простое химическое действие, но нет электрического тока.¹

¹ Я не думаю утверждать, что в таких случаях не появляется даже следов электричества. Я лишь считаю, что здесь никоим образом нет выделения электричества, обусловленного или связанного с причинами, воз-

922. На первый взгляд можно бы предполагать, что в качестве третьего вещества между цинком и платиной годится любое проводящее тело, не являющееся электролитом; и действительно, имеется несколько таких веществ, способных оказывать химическое действие на металлы. Их, однако, следует выбирать среди самых металлов, так как, за исключением этих веществ и древесного угля, тел такого рода не существует. Чтобы решить вопрос опытом, я поступил следующим образом. В изогнутую V-образно стеклянную трубку (рис. 81) было помещено расплавленное олово, заполнявшее половину каждого колена; туда были внесены два куска толстой платиновой проволоки p и w так, что концы их были на некоторую глубину погружены в олово; затем, после охлаждения всей системы, концы p и w были соединены с чувствительным гальванометром. Часть трубки около x была снова разогрета, тогда как участок y оставался холодным. Образовавшийся термо-электрический ток немедленно подействовал на гальванометр. Я постепенно усиливал подогревание в x , пока, наконец, платина и олово там соединились; этот эффект, как известно, сопровождается сильным химическим действием и значительным раскаливанием; однако ни малейшего дополнительного действия на гальванометр не возникло. За все время не наблюдалось никакого другого отклонения прибора, кроме того, которое производилось термо-электрическим током. Итак, хотя для опыта и был взят проводник, и притом способный проявлять химическое действие на цинк, тем не менее, ввиду того, что он не был *электролитом*, ни

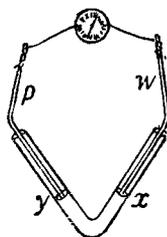


Рис. 81.

буждающими гальваническое электричество, или пропорционального им. А то электричество, которое все же появляется, представляет собой, вероятно, менее одной стотысячной или даже миллионной доли того, которое могло бы быть создано действующим веществом, если поставить его в такие условия, чтобы оно могло действовать гальванически; и источник его, вероятно, совершенно другой.

малейшего действия электрического тока наблюдать не удалось (947).

923. Отсюда представляется очевидным, что в одном участке гальванической цепи *существенным* являются тот особый характер и то состояние, которые характерны для электролита, а если иметь в виду природу этого последнего, то выявляются веские основания, почему именно только он один и является важным. Электролит всегда является сложным веществом: он может проводить электричество, но только тогда, когда он разлагается. Проводимость его обусловлена его разложением и *переносом его частиц* в направлениях, параллельных току; и эта связь настолько тесна, что если приостановить перенос частиц, то прекращается и ток. Если изменить путь частиц, то путь и направление тока также изменяются; если частицы следуют в некотором направлении, то и ток не может следовать в ином направлении, а только в том, которое неизменно зависит от них. Частицы электролита настолько друг с другом связаны, находятся в таком родстве друг с другом на всем своем протяжении в направлении тока, что если последняя из них не выделится, то и первая не будет иметь возможности занять свое место в новом соединении, которое стремится создать мощное химическое сродство наиболее активного металла; тогда самый ток прекращается, ибо ток и разложение находятся в столь тесной связи друг с другом, что независимо от того, которое из этих явлений произведено первым, — движение частиц или движение тока, — одно неизменно возникает попутно с другим и в родственной связи с ним.

924. Рассмотрим затем воду и как электролит и как окислитель. При данных условиях притяжение цинка к кислороду больше, чем притяжение кислорода к водороду; но при соединении с кислородом цинк стремится создать ток электричества в определенном направлении. Линия тока совпадает, как это найдено из бесчисленных опытов, с переносом водорода от цинка по направлению к платине и с противоположно направленным переносом свежих порций кислорода от платины к цинку; ток

таким образом *может проходить* по одной этой линии и при своем прохождении не мешает, а даже благоприятствует возникновению на поверхности цинка тех условий, которыми первоначально определяются как химическое соединение, так и прохождение тока. Отсюда непрерывность действия на этой поверхности, отсюда и дальнейшее существование тока. Из этого ясно, что для того, чтобы действие могло передаваться в *определённом постоянном направлении*, наличие в цепи электролита столь же существенно, как и присутствие окисляющего или другого вещества, способного непосредственно действовать на металл; представляется также существенным, чтобы эти два вещества были объединены в одно, и чтобы начало, непосредственно действующее химически на металл, являлось одним из *ионов* служащего для опыта электролита. До сих пор, независимо от того, чем возбуждался гальванический прибор — растворами кислот, щелочей или сернистых соединений, или же расплавленными веществами (476), это основное начало всегда, насколько мне известно, было *анионом* (943); и я, исходя из принципиальных соображений об электрическом действии, прихожу к заключению, что оно непременно должно принадлежать к этому классу веществ.

925. Если рассматривать действие серной кислоты, взятой для гальванической цепи, то окажется, что соединение ее с образовавшимся окислом неспособно создать в цепи заметной доли тока электричества по той простой причине, что ей недостает весьма существенного условия: кислота не является частью какого-либо электролита и не связана с каким-либо другим присутствующим в растворе веществом, которое допускало бы взаимный перенос частиц и вытекающий отсюда перенос электричества. Правда, вследствие того, что поверхность, у которой кислота растворяет образовавшуюся при действии воды окись цинка, соприкасается с цинком, повидимому, нетрудно представить себе, каким образом эта окись могла бы сообщить металлу, который и без разложения является проводником, электрическое состояние, соответствующее химическому действию

его на кислоту. Но со стороны кислоты нет вещества, которое замыкало бы цепь; вода сама по себе не может быть проводником или, в лучшем случае, может проводить лишь столь небольшое количество электричества, что это представляет собой только случайное и почти неуловимое действие (970); вода не может проводить электричество и как электролит, потому что электролит проводит в результате *взаимной* связи и взаимного действия своих частиц, а ни элементы воды, ни сама вода не являются, насколько это может быть обнаружено, *ионами* по отношению к серной кислоте (848).¹

926. Это представление о вторичной роли серной кислоты, как агента при создании гальванического тока, находит дальнейшее подтверждение в том факте, что возникший и передаваемый ток в точности прямо пропорционален количеству разложенной воды и количеству окисленного цинка (868, 991) и равен току, требуемому для разложения такого же количества воды. Так как разложение воды указывает на то, что ток проходил при ее посредстве, то, значит, нет случаев, когда электричество приходилось бы объяснять или приписывать какому-либо иному действию, помимо взаимного действия цинка и воды.

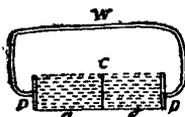


Рис. 82.

927. Этот общий, так как он включает в себя и первый (924) случай кислот и оснований, с теоретической точки зрения, можно представить следующим образом. Предположим, что на рис. 82 *a* изображает сухой ангидрид кислоты, *a b* — безводное основание, соприкасающиеся в *c* и электрически соединенные на своих концах с помощью платиновых пластин *pp* и платиновой проволоки *w*. Если бы эти кислота и основание были жидкими, и если бы в *c* происходило соединение, то как бы велико ни было при этом химическое сродство, и как бы ни была велика его

¹ Легко видеть, что здесь я согласен с сэром Гемфри Дэви, который экспериментально доказал, что при своем соединении кислоты и щелочи не создают никакого тока электричества. *Philosophical Transactions*, 1826, стр. 398.

способность вызвать электрический ток, этот ток не мог бы быть сколько-нибудь значительным, потому что, согласно данным опыта, ни *a*, ни *b* не могут проводить электричество без разложения; ибо они представляют собой или электролиты, или изоляторы во всех случаях, если не считать очень слабых и несущественных токов (970, 986). Силы химического сродства в *c* не таковы, чтобы они стремились разделить *элементы a* или *b*; они только способствуют соединению обоих этих веществ в целом; поэтому место действия оказывается изолированным, само действие — чисто местным (921, 947), и ток образоваться не может.

928. Если кислота и основание растворены в воде, то может случиться, что небольшое количество электричества, производимое химическим действием, будет проведено водой без разложения (966, 984); однако это количество будет настолько мало, что совершенно не будет соответствовать эквивалентам химической силы; оно будет чисто случайным, и, не обнаруживая существенных свойств электричества гальванического элемента, ни с какой стороны не будет частью рассматриваемых в настоящий момент явлений.¹

929. Если заменить кислородную кислоту галоидо-водородной (927), например из группы аналогичных соляной, то положение вещей совершенно меняется, и становится возможным ток, производимый химическим действием кислоты на основание. Но в этом случае оба вещества действуют как электролиты, так как в каждом из них имеется только по одному элементу, который соединяется с другим, как, например, хлор и металл; тогда водород кислоты и кислород основания готовы перемещаться вместе с хлором кислоты и с металлом основания

¹ Вполне, я надеюсь, понятно, что в настоящих исследованиях я не намереваюсь дать отчет о каждом незначительном случайном или маловероятном действии, зависящем от незначительных возмущений электрической жидкости во время химического действия, а стараюсь распознать и установить подлинность тех действий, от которых существенно зависит сила гальванической батареи.

в соответствии с током и в согласии с столь подробно изложенными выше общими законами.

930. В пользу этой точки зрения, утверждающей, что единственной причиной создания электрического тока в обыкновенном гальваническом элементе является окисление металла или какое-нибудь другое непосредственное химическое действие на него же, говорят те явления, которые имеют место, когда в качестве электролитического проводника вместо разбавленной серной кислоты служат щелочные растворы или растворы сернистых соединений (931, 943). Именно для выяснения этого пункта были поставлены описанные выше (884) опыты без металлического контакта и с раствором щелочи в качестве возбуждающей жидкости.

931. Затем были использованы более благоприятные условия, которые представляются при допущении металлического контакта (895), и были повторены опыты с разложением веществ с помощью одной пары пластин (899), причем разбавленная серная кислота в сосуде *v* (см. рис. 78), заменялась раствором едкого кали. Возникали все те же действия, что и ранее: гальванометр отклонялся, в точке *x* происходило разложение растворов иодида калия, нитрата серебра, соляной кислоты и сульфата натрия; место, где появлялись выделяющиеся вещества, так же как и отклонение гальванометра, указывали на существование тока *такого же направления*, как и в том случае, когда в сосуде *v* имелась кислота, т. е. в направлении от цинка, через раствор, к платине и обратно к цинку через гальванометр и разлагающееся вещество.

932. Сходство между действиями разбавленной серной кислоты и едкого калия в действительности идет гораздо дальше этого, вплоть до доказательства тождества не только в *направлении* движения получаемого электричества, но и в *количестве* его. Если в раствор едкого кали погрузить амальгамированную цинковую пластинку, то она не поддается заметному

действию; но если она в растворе соприкасается с платиновой пластинкой, то на поверхности последней выделяется водород, и цинк окисляется точно также, как при погружении в разбавленную серную кислоту (863). Ввиду этого я повторил вышеописанный опыт со взвешенными цинковыми пластинами (864 и т. д.), заменив, однако, разбавленную серную кислоту раствором едкого кали. Хотя теперь требовалось значительно больше времени, чем с кислотой (так, например, для окисления 7,55 грана цинка потребовалось около трех часов), тем не менее, я нашел, что выделившийся у платиновой пластины водород был эквивалентен количеству металла, окисленного у поверхности цинка. Следовательно, все те рассуждения, которые приложимы в первом случае, пригодны также и здесь, и ток имеет то же самое направление, и разлагающее его действие имеет ту же величину, как при опытах с кислотой вместо щелочи (868).

933. Итак, мне представляется вполне доказанным, что в предшествующем опыте соединение кислоты с окислом не имело ничего общего с созданием электрического тока; в самом деле, в данном случае такой же точно ток создается, когда действия кислоты нет, а есть обратное действие щелочи. Нельзя, я полагаю, допустить ни на один момент, чтобы щелочь химически вела себя по отношению к образовавшемуся окислу так же, как кислота; наоборот, наши основные познания по химии приводят нас к заключению, что скорее обыкновенные металлические окислы действуют, как кислоты на щелочи; но действие такого рода создавало бы ток, обратный тому, который имеет место в данном случае, если вообще имел место ток, обусловленный таким соединением окисла возбуждаемого металла с веществом, которое с ним соединяется. Однако никакого изменения такого рода не наблюдалось; наоборот, направление электричества было все то же и количество его также было прямо пропорционально количеству разложенной воды или окисленного цинка. Имеются основания полагать, что кислоты и щелочи, находясь в соприкосновении с металлами, на которые

они непосредственно действовать не могут, все же обладают способностью влиять на сродство последних к кислороду (941). Однако все явления в этих опытах подтверждают, я полагаю, что ток создается именно окислением металла, которое неизбежно определяется электролизом воды и само по себе с ним связано (921, 923), что кислота или щелочь действуют только как растворители, и, удаляя окисленный цинк, позволяют следующим порциям его разлагать все новую воду и продолжать таким образом образование тока и давать ему направление.

934. Затем опыты были видоизменены таким образом, что вместо раствора едкого кали был взят раствор аммиака; так как последний в чистом виде является, подобно воде, плохим проводником (554), то его проводимость иногда улучшалась добавлением к нему сульфата аммония. Однако во всех этих случаях результаты были те же, что и ранее: происходило разложение такого же рода, и вызывающий его электрический ток имел то же самое направление, что и в только что описанных опытах.

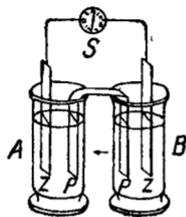


Рис. 83.

935. Чтобы с большей строгостью проверить равенство и сходство действия кислоты и щелочи, была изготовлена установка, показанная на рис. 83. Стекланный сосуд *A* содержал разбавленную серную кислоту, а соответствующий стеклянный сосуд *B* — раствор едкого кали; *PP* изображает собой платиновую пластину погруженную в тот и другой раствор, а *ZZ* — две пластины из амальгамированного цинка, соединенные с чувствительным гальванометром. При одновременном погружении последних в оба сосуда, вначале возникало слабое вообще действие, и притом в пользу щелочи, т. е. электрический ток стремился проходить через сосуды в направлении стрелки, что представляет собой направление, обратное тому, которое получилось бы при одной кислоте в сосудах *A*. Однако это действие сейчас же прекращалось, и действия пластин оказывались настолько близкими по величине, что, будучи проти-

воположными в силу противоположного расположения пластин, они в результате не давали длительного тока.

936. Иногда платиновые пластины *PP* заменялись цинковыми, а цинковые — платиновыми, но это не вызывало никаких изменений в результатах; дальнейшая замена средней пластины медной также не вызывала никаких изменений.

937. Так как противопоставление электродвижущих пар пластин приводит к результатам, отличным от тех, которые обусловлены просто разностью их независимого действия (1011, 1045), то я придумал другую форму прибора, в котором действие кислоты и щелочи можно было бы сравнить более непосредственно. Цилиндрическая стеклянная чашка дюйма два в глубину (внутри) с внутренним диаметром в один дюйм и по крайней мере в четверть дюйма толщиной, была вдоль середины разрезана пополам (рис. 84). Было взято широкое латунное кольцо, в диаметре больше чашечки; на одной его стороне имелся винт, так, чтобы если обе половины чашечки поместить во внутрь кольца и винт плотно прижать к стеклу, в чашечке удерживалась налитая в нее жидкость. Промокательная бумага различной степени проницаемости разрезалась на куски такого



Рис. 84.

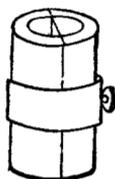


Рис. 85.

размера, чтобы их легко можно было ввести между неплотно прилегающими половинами чашечки; когда последние опять плотно прижимались друг к другу, они образовали пористую перегородку вдоль середины чашечки; перегородка эта была достаточна для того, чтобы помешать смешиванию (разве только медленному) любых двух жидкостей, находящихся с противоположных сторон бумаги, и, тем не менее, не препятствовала тому, чтобы они действовали, как один *электролит*. Два образованных таким образом объема я буду называть ячейками *A* и *B* (рис. 85). Я нашел, что этот прибор может быть полезен во многих случаях при исследовании отношений между различными жидкостями и между жидкостями и металлами. Поль-

зуюсь этим прибором вместе с гальванометром, легко установить отношение одного металла к двум жидкостям или двух металлов к одной жидкости, или двух металлов и двух жидкостей.

938. В ячейку *A* была налита разбавленная серная кислота с удельным весом 1,25, а в ячейку *B* — крепкий раствор едкого кали; они медленно смешивались через бумагу, так что в конце концов на стороне бумаги, обращенной к щелочи, образовалась толстая корочка сульфата кали. В каждую ячейку было опущено по пластинке из чистой платины, и пластинки были связаны с чувствительным гальванометром, но никакого электрического тока обнаружить не удалось. Следовательно контакт кислоты с одной из платиновых пластин, а щелочи с другой, не были в состоянии создать ток; не могло этого достигнуть и соединение кислоты со щелочью (925).

939. Когда я удалял одну из платиновых пластин и заменял ее цинковой, все равно, амальгамированной или неамальгамированной, получался сильный электрический ток. Но безразлично, где что находилось: цинк — в кислоте, а платина — в щелочи, или же порядок был обратный, электрический ток всегда проходил от цинка через электролит к платине и обратно к цинку через гальванометр, причем наиболее силен ток, по видимому, был тогда, когда цинк находился в щелочи, а платина — в кислоте.

940. Таким образом в этих опытах кислота, видимо, не перебивает щелочи, а скорее уступает ей в силе. Нет, следовательно, оснований предполагать, что соединение образующегося окисла с окружающей его кислотой оказывает непосредственное влияние на образование выделяемого электричества; оно, по видимому, целиком обусловлено окислением металла (919).

941. Щелочь превосходит кислоту в отношении способности приводить металл в так называемое положительное состояние; и действительно, если как в кислоте, так и в щелочи брать пластины из одного и того же металла, как, например, цинка, олова, свинца или меди, то электрический ток идет от щелочи

через элемент к кислоте и обратно к щелочи через гальванометр, как это было ранее указано сэром Гемфри Дэви.¹ Этот ток настолько велик, что если металлом служит амальгамированный цинк, олово или свинец, металл в кислоте начинает выделять водород сейчас же по соединении его с металлом в щелочи; и вовсе не из-за прямого действия на него кислоты, так как при размыкании контакта действие прекращается, а в силу того, что он оказывается сильно отрицательным по отношению к металлу в щелочи.

942. Превосходство щелочи подтверждается еще тем, что при употреблении пластинок из цинка и олова или олова и свинца, тот из металлов, который погружают в щелочь, становится положительным, а металл, опущенный в кислоту — отрицательным. Какой бы металл ни находился в щелочи, он окисляется, тогда как в кислоте металл сохраняет металлическое состояние, поскольку это зависит от электрического тока.

943. Для иллюстрации того положения, что электричество гальванической цепи целиком возбуждается химическим действием между металлом и одним из *ионов* взятого одновременно электролита, я брал иногда сернистые растворы. Тогда получаются те же доказательства. Так, например, как показал сэр Гемфри Дэви,² при погружении железа и меди в разбавленную кислоту, ток идет от железа к меди через жидкость; в растворе едкого кали он имеет то же самое, а в растворе сернистого кали — обратное направление. В первых двух случаях электрический ток создается кислородом, который соединяется с железом, а в последнем — серой, соединяющейся с медью; но и кислород и сера представляют собой *ионы*, существующие как таковые в электролите, который в то же время претерпевает разложение; мало того, оба они суть *анионы*, так как они покидают электролиты у их *анодов* и действуют точно так же, как действо-

¹ Elements of Chemical Philosophy, стр. 149, или Philosophical Transactions, 1826, стр. 403.

² Elements of Chemical Philosophy, стр. 148.

вал бы хлор, иод или любой другой анион, который мы могли бы избрать заранее, чтобы привести в действие гальваническую цепь.

944. Следующие опыты дополняют ряд доказательств по вопросу о происхождении электричества гальванического элемента. Жидкая амальгама калия, содержащая не более одной сотой части последнего металла, была опущена в чистую воду и соединена через гальванометр с платиновой пластинкой, находившейся в той же воде. Немедленно возникал электрический ток, направленный от амальгамы через электролит к платине. Этот ток должен быть приписан одному лишь окислению этого металла, так как здесь не было ни кислоты, ни щелочи, которые могли бы соединяться с образовавшимся веществом или вообще каким-либо путем на него действовать.

945. Затем в *чистую* воду были опущены пластины из очищенного свинца и из платины. Немедленно же возникал сильный ток, направленный от свинца через жидкость к платине. Напряжения его хватало даже на разложение раствора иодида калия, введенного в цепь в виде описанного выше (880) устройства (см. рис. 74). В данном случае источником электричества не могло быть действие кислоты или щелочи на образовавшийся из свинца окисел; электричество было обусловлено исключительно окислением металла.

946. В учении об электричестве нет вопроса, который представлялся бы мне более важным, чем состояние металлов и электрических проводников в простой гальванической цепи в момент *перед самым замыканием* металлического контакта и в *самый момент замыкания*. Я не сомневаюсь в том, что правильное понимание этого вопроса дало бы нам в руки ключ к тем законам, которым подчинено огромное разнообразие типов гальванического возбуждения как прямого, так и косвенного, и открыло бы новые области для нашего исследования.¹

¹ В связи с этим вопросом см. одиннадцатую серию, п. 1164; двенадцатую серию, пп. 1343—1358; тринадцатую серию, п. 1621 и т. д. Дек. 1838 г.

947. Во многих случаях химического сродства (как, например, цинка к кислороду воды и т. п.) мы, повидимому, можем до некоторой степени решить, к какому именно из двух типов относится та *притягательная сила*, которая будет здесь проявляться (996). При действии одного типа мы можем передавать эту силу дальше и заставить ее в другом месте совершить эквивалентное действие (867, 917); при действии другого типа она не передается, а проявляется полностью на месте. Первое представляет собой случай вольта-электрического возбуждения, второе — обыкновенного химического сродства, но оба они являются химическими действиями и обусловлены одной и той же силой, или началом.

948. Общие условия для действия первого типа имеют место во всех случаях гальванического тока, но вполне характерными и свободными от условий, соответствующих второму типу, их можно считать только в некоторых случаях, как, например, при употреблении пластин из цинка и платины в растворе едкого кали или амальгамированного цинка и платины в разбавленной серной кислоте.

949. Итак, можно принять, что предшествующими опытами и рассуждениями в достаточной мере доказано, что при цинке, платине и разбавленной серной кислоте электродвижущее действие обусловлено взаимным сродством металлического цинка и кислорода воды (921, 924); но казалось бы, что сам по себе этот металл еще не обладает при этих обстоятельствах достаточной силой, чтобы отнять от воды кислород и выделить водород; действительно, такого действия и не наблюдается. Однако ясно, с другой стороны, что благодаря притяжению к кислороду тех частиц, которые с ним соприкасаются, у цинка хватает силы действовать так, чтобы приводить в особое состояние напряжения или полярности силы, которые уже действуют между этими частицами кислорода и частицами водорода воды; по всей вероятности, он одновременно приводит в подобное же, но противоположное состояние свои собственные частицы, находящиеся в соприкосновении с водой. Пока это состояние сохраняется, никакого дальнейшего изменения не происходит; но при замыкании

цепи состояние это исчезает, причем силы, устремленные в противоположных по отношению к цинку и к электролиту направлениях, оказываются способными в точности нейтрализовать друг друга, и тогда между местом контакта с платиной и тем местом, где действует цинк, среди частиц кислорода и водорода, составляющих воду, происходит ряд разложений и соединений; эти промежуточные частицы, очевидно, находятся в тесной связи и зависимости друг от друга. Цинк образует прямое соединение с теми частицами кислорода, которые до тех пор были связаны и с ним и с водородом; окисел удаляется кислотой, и перед водой предстает свежая поверхность цинка; действие возобновляется и повторяется далее и далее.

950. Чтобы устранить это состояние напряжения, практически лучше всего погрузить в разбавленную кислоту металл, который обладает меньшим притяжением к кислороду, чем цинк, и привести его в соприкосновение и с цинком. Тогда сила химического сродства, которая в частицах воды была поляризована или подвергалась влиянию более сильного притяжения цинка к кислороду, в высшей степени необычным путем передается через оба металла и снова входит в цепь электролитического проводника, который, в отличие в этом отношении от металлов, не может передавать или переносить этой силы, не претерпевая разложения. Эта сила, по всей вероятности, в точности уравнивается и нейтрализуется той силой, которая в тот же самый момент производит соединение цинка с кислородом воды. Действительно, силы этих двух частиц, которые действуют друг против друга и, следовательно, направлены в противоположные стороны, дают начало двум противоположным силам, или направлениям сил в токе. Они неизбежно эквивалентны друг другу, и когда они переносятся в противоположные стороны, они производят то, что называется гальваническим током. Невозможно, мне кажется, удержаться от мысли, что им должно предшествовать *состояние напряжения* в жидкости и между жидкостью и цинком; это напряжение является *первым следствием*, вытекающим из сродства цинка к кислороду воды.

951. Я тщательно искал указаний на состояние напряжения в электролитическом проводнике; я полагал, что оно создает нечто вроде структуры либо в момент его исчезновения, либо до этого, и пытался обнаружить это с помощью поляризованного света. К стеклянному сосуду, в семь дюймов длиной, полтора дюйма шириной и шесть дюймов высотой, были прилажены две системы платиновых электродов: одна система для концов [сосуда] и другая — для его боковых стенок. Электроды, предназначенные для боковых стенок, имели семь дюймов в длину и три дюйма в высоту; и когда они находились в элементе, то отделялись друг от друга небольшой деревянной, покрытой колесиком, рамкой так, что когда они становились действующими вследствие присоединения к батарее и действовали на раствор в сосуде, то поднимающиеся от них пузырьки газа не затеняли центральной части жидкости.

952. В сосуд наливался насыщенный раствор сульфата натрия, и электроды связывались с батареей из 150 пар 4-дюймовых пластин. Ток электричества проходил через сосуд настолько легко, что цепь замыкалась не хуже, чем если бы здесь был провод. Затем через раствор, прямо перпендикулярно пути тока, был пропущен поляризованный луч света, который наблюдался с помощью анализирующей пластинки. Однако, хотя луч проходил через семь дюймов раствора, подвергнутого таким образом действию электричества, и хотя контакт то замыкался, то размыкался, а иногда делался и в обратном направлении, ни малейших следов действия на луч заметить не удавалось.

953. Затем на место больших электродов были введены другие, которые по размерам точно соответствовали концам сосуда. Чтобы свет мог проходить, в каждом из них была прорезана щель. Путь поляризованного луча был теперь параллелен току, иначе говоря проходил в направлении его оси (517); тем не менее действия на луч ни при каких условиях — ни при замыкании, ни при размыкании — заметить не удавалось.

954. Вместо сульфата натрия был взят крепкий раствор нитрата свинца, но никакого действия обнаружить не удавалось.

955. Я считал возможным, что эффект, который, вероятно, создается начальным состоянием напряжения, может быть нейтрализован и, значит, уничтожен ослаблением электрических сил вследствие последовательных разложений новых частиц электролита; я взял поэтому вещество, которое, будучи в жидком состоянии прекрасным электролитом, в твердом представляет собой совершенный изолятор, а именно: борат свинца в виде стеклянной пластинки; я соединял грани и ребра этой массы с металлическими пластинами, которые находились в контакте иногда с полюсами гальванической батареи, а иногда даже с электрической машиной, чтобы использовать получаемое в этом случае преимущество в смысле значительно более высокого напряжения; я пропускал сквозь пластинку, как и ранее, поляризованный луч в различных направлениях, но ни малейшего проявления действия на свет мне получить не удалось. Отсюда я заключаю, что, несмотря на это новое и необычное состояние, в которое должен приходиться электролит либо во время разложения (когда через него проходит огромное количество электричества), либо в состоянии напряжения, которое, как я понимаю, предшествует разложению и которое, как можно было бы предполагать, должно сохраняться, если электролит находится в твердом состоянии, — электролит, тем не менее, не обладает способностью действовать на поляризованный луч света, так как таким путем никакой структуры или напряжения обнаружить нельзя.

956. Имеется, однако, одно прекрасное экспериментальное подтверждение состояния напряжения, приобретаемого металлами и электролитом до того момента, как создается электрический ток и *ранее, чем производится контакт* между разнородными металлами (915), т. е. фактически в тот момент, когда единственной действующей причиной являются химические силы. Я взял гальванический прибор, состоящий всего из одной пары больших пластин, а именно: цилиндра из амальгамированного цинка и двойного медного цилиндра. Пластины были погружены в банку, содержащую разбавленную серную ки-

слоту; ¹ их по желанию можно было приводить в металлическое соединение с помощью медной проволоки, приспособленной так, что ее концы можно было погружать в две чашки со ртутью, соединенные с пластинами.

957. При таком устройстве, когда пластины соединены не были, химического действия также не было. При замыкании контакта получалась искра, ² и раствор немедленно разлагался. При размыкании получалась обычная искра, и разложение прекращалось. В этом случае очевидно, что первая искра должна была возникнуть раньше, чем был произведен металлический контакт, так как она проходила через воздушный промежуток. Очевидно также, что искра должна была стремиться проскочить раньше, чем наступало электролитическое действие, так как последнее не могло иметь места до тех пор, пока не пошел ток, а ток не мог пройти раньше, чем появилась искра. В этом я усматриваю достаточно веское подтверждение того, что поскольку электричество этого устройства производится взаимным действием цинка и воды, постольку именно они в результате их начального соприкосновения друг с другом пришли в состояние сильного напряжения (951), которое, хотя и не может вызвать фактического разложения воды, но может заставить искру электричества проскочить между цинком и подходящим разрядником, как только расстояние между ними делается достаточно малым. Этот опыт демонстрирует непосредственное образование электрической искры посредством чисто химических сил.

958. Получение искры с помощью одной пары пластин связано с несколькими условиями, которые следует знать, чтобы

¹ При пользовании азотно-серной кислотой, искра получается более сильной, но тогда может начаться местное химическое действие, не требующее для своего продолжения металлического контакта.

² Обычно полагают, что при одной паре пластин при замыкании контакта искра не получается. Я ожидал искры на основании выдвинутых в настоящем докладе соображений. Соединительный провод должен быть коротким, так как длинный провод создает условия, сильно сказывающиеся на искре.

успех опыта ¹ был обеспечен. Когда амальгамированные поверхности контакта совершенно чисты и сухи, то искра при замыкании контакта получается столь же, а может быть и еще более яркой, чем при размыкании его. Когда же на той или другой ртутной поверхности имелась пленка окиси или грязи, тогда первая искра часто была слабой; нередко она совершенно отсутствовала, искра же при размыкании была попрежнему постоянной и яркой. Когда на поверхности ртути было налито немного воды, то яркость искры сильно уменьшилась, но одинаково как при замыкании, так и при размыкании контакта. Когда контакт производился между поверхностями чистой платины, то искра была также очень слабой, но одинаковой в обоих случаях. Настоящая электрическая искра в действительности очень слаба, и при пользовании ртутными поверхностями большая часть света производится сгоранием металла. Связанные со сгоранием ртути условия весьма благоприятны при размыкании контакта, так как в момент размыкания вскрываются чистые поверхности металла, тогда как при замыкании контакта часто мешает пленка окиси или загрязнений. Отсюда общее мнение, что искра проскакивает только при *размыкании* контакта.

959. Обратимся к другому ряду случаев, а именно к случаям местного действия (947); при них проявляющееся химическое сродство не вызывает переноса этой силы туда, где не создается электрического тока. Очевидно, что здесь должны действовать весьма интенсивные силы, но во время таких соединений они должны некоторым образом уравниваться в своей деятельности; эти силы направлены столь прямо и исключительно навстречу друг другу, что не обнаруживается никаких следов того сильного электрического тока, который они способны создать, хотя в конечном итоге положение оказывается таким же, как если бы ток прошел. Кажется, Берцелиусу принадлежит мнение,

¹ В отношении предосторожностей, относящихся к искре, п. 1074. Дек. 1838 г.

что образуемое при сгорании тепло и свет являются результатами такого способа проявления электрических сил соединяющихся частиц. Однако понадобится гораздо более точное и широкое познание природы электричества и того, каким образом оно связано с атомами материи, прежде чем мы сможем правильно понять действие силы, которая вызывает такое соединение атомов, и постигнуть природу большого различия, которое представляет эта сила в только что разобранных способах действия. Можно делать разные предположения, но все они пока что должны быть отнесены к числу *сомнительных данных* (876), а это число мы должны стараться уменьшать, а не увеличивать, так как многочисленные взаимные противоречия этих данных указывают, что лишь небольшая часть их может в конечном итоге оказаться истинной.¹

960. Относительно двух типов действия, в которых проявляется химическое сродство, важно отметить, что действие, производящее электрический ток, так же *определенно*, как и то, которое вызывает обыкновенное химическое соединение, так что при изучении *получения* или *выделения* электричества в случаях соединения и разложения необходимо изучить не только [химические] действия, производимые током электричества, но также и их размеры; правда, не раз может случиться, что силы, наблюдаемые в каком-либо частном случае химического действия, будут проявляться отчасти в одном виде, а отчасти в другом; но отношение к гальваническому действию имеют только те силы, которые причастны к созданию тока. Так, при соединении кислорода и водорода, с образованием воды, временно действуют огромные электрические силы (861, 873); однако методы, разработанные до сих пор для изучения пламени, которое образуется во время их энергичного соединения, позволили заметить лишь ничтожные следы этих сил. Эти следы не могут и не должны поэтому служить указаниями на природу данного действия, но представляют собой лишь случайные результаты, несравнимо малые по

¹ См. п. 1738 и т. д., четырнадцатая серия. Дек. 1838 г.

сравнению с участвующими в явлении силами; они не дают нам сведений о том, каким путем частицы действуют друг на друга, или о том, как в конце концов, располагаются их силы.

961. Что такие случаи химического действия не производят *тока электричества*, это полностью согласуется с тем, что нам известно о гальваническом приборе, в котором существенно, чтобы один из соединяющихся элементов являлся частью электролитического проводника или находился с ним в непосредственной связи (921, 923). В таких случаях не получается *свободного электричества напряжения*, и при переходе их в случаи гальванического действия создаются настолько [по величине] одинаковые, противоположные силы, что они нейтрализуют друг друга. Это обстоятельство доказывает равенство сил в расположенных друг против друга и действующих частицах материи, а, следовательно, и равенство электрических сил в тех количествах вещества, которые называются *электрохимическими эквивалентами* (824). Отсюда другое доказательство определенности электрохимического действия (783 и т. д.) и того, что химическое сродство и электричество суть разные виды одной и той же силы.

962. Непосредственная связь между действиями, производимыми гальваническим элементом в месте, где производится разложение, и химическим сродством, действующим в месте возбуждения (891, 917), дает весьма простое и естественное представление о причине того, почему выделяющиеся вещества (или *ионы*) переносятся в определенных направлениях; в самом деле, только тогда, когда они перемещаются в этих направлениях, силы их могут существовать наряду с превосходящими их силами, которые преобладают в том месте, где определяется действие всей системы, и компенсировать их (по крайней мере, в смысле направления). Если, например, в гальванической цепи, действие которой определяется притяжением цинка к кислороду воды, цинк движется справа налево, то всякий другой, находящийся в цепи *катион*, представляющий собой часть электролита или временно образующий часть его, также будет двигаться справа налево; и поскольку кислород воды, в силу своего естественного

сродства к цинку, движется слева направо, то и всякое другое вещество, принадлежащее к тому же классу (т. е. всякий другой анион) и в данное время подчиняющееся кислороду, будет двигаться слева направо.

963. Я могу иллюстрировать это ссылкой на рис. 86, где двойная окружность пусть изображает замкнутую гальваниче-

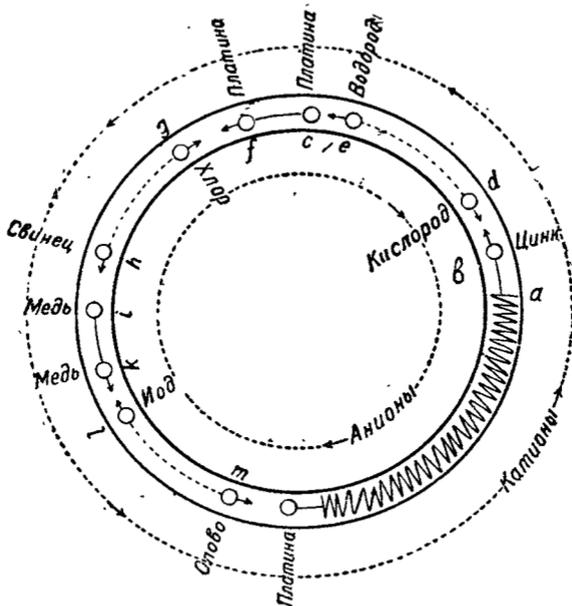


Рис. 86.

скую цепь; направление ее сил определится, если на момент предположить, что цинк *b* и платина *c* изображают пластины из этих металлов, действующие на воду, *d*, *e* и другие вещества, и что энергия, которой цинк и платина обладают, настолько выше, что при действии батареи в *a* они вызывают ряд разложений (989). Это предположение допустимо, потому что действие в батарее будет состоять лишь из повторений того, что имело бы место между *b* и *c*, если бы они действительно составляли только-

одну пару [пластин]. Цинк b и кислород d , в силу своего взаимного сродства, стремятся к соединению; но так как кислород уже связан с водородом e и присущие ему химические или электрические силы в данное время нейтрализованы силами последнего, то водород e должен покинуть кислород d и продвигаться в направлении стрелки; иначе цинк b не сможет перемещаться в том же самом направлении, чтобы соединиться с кислородом d , а кислород d тоже не сможет двигаться в противоположном направлении, чтобы соединиться с цинком b , так как этому мешает отношение между *одинаковыми* силами b и e , направленными друг другу навстречу, и *противоположными* силами d . По мере того как водород e продвигается вперед, он, дойдя до составляющей часть цепи платины cf , при посредстве ее передает свои электрические или химические силы следующему в цепи электролиту — расплавленному хлориду свинца g, h , в котором хлор должен перемещаться одинаково с направлением движения кислорода у d , так как он должен компенсировать силы, нарушенные в занимаемой им части цепи более сильным влиянием сил между кислородом и цинком у db , еще подкрепляемых силами батареи a . Вследствие подобных же причин, свинец должен двигаться в направлении, намеченном стрелкой, чтобы быть в должном отношении к первому движущемуся веществу того же класса, а именно к цинку b . Если в цепь от i до k включить медь, то она действует так, как раньше платина; а если в lm находится другой электролит, скажем, иодид олова, то иод l , являясь *анионом*, должен перемещаться одинаково с возбуждающим *анионом*, именно кислородом d , а *катион*, т. е. олово m , должен двигаться согласно с другими катионами d, e и h , чтобы химические силы во всей цепи находились в равновесии, в отношении как направления, так и величины. Если бы случилось, что анионы при своем передвижении соединятся с металлами у *анодов* соответствующих электролитов, как это имело бы место у платины f и меди k , то эти вещества, сделавшись частью электролитов, под влиянием тока немедленно придут в движение; но если принять во внимание их отношение к цинку b , то, очевидно, невозможно,

чтобы они перемещались в направлении, отличном от пути цинка, и поэтому они никогда не могут двигаться иначе как *от* анода к катоду.

964. Таким образом в цепи, подобной той, которая изображена на рисунке, все известные *анионы* могут сгруппироваться внутри, а все *катионы* — снаружи. Если некоторое количество их входит в качестве *ионов* в состав электролитов и, образуя одну цепь, одновременно подвергается действию общего тока, то анионы должны двигаться в согласии друг с другом в одном направлении, а катионы — в другом. Мало того, в противоположных направлениях должны таким образом перемещаться эквивалентные количества этих веществ: перемещение каждых 32,5 частей цинка *b* должно сопровождаться перемещением в противоположном направлении 8 частей кислорода у *d*, 36 частей хлора у *g*, 126 частей иода у *l* и движением в том же самом направлении равных их электрохимическим эквивалентам количеств водорода, свинца, меди и олова у *e*, *h*, *k* и *m*.

965. Если признать настоящий доклад правильным изложением фактов, то он все же явится лишь подтверждением некоторых общих взглядов, высказанных сэром Гемфри Дэви в его Бэкеровской лекции в 1806 г.,¹ а затем пересмотренных и вновь изложенных им в 1826 г. в другой Бэкеровской лекции об электрических и химических изменениях.² Основное его положение таково: «*химические и электрические притяжения производятся одной и той же причиной, действующей в одном случае на частицы, а в другом — на массы вещества; одно и то же свойство в различных видоизменениях оказывается причиной всех явлений, обнаруживаемых различными гальваническими комбинациями*». ³ Это положение я считаю правильным; однако, принимая и поддерживая его, я должен протестовать против предположения,

¹ Philosophical Transactions, 1807.

² Там же, 1826, стр. 383.

³ Там же, 1826, стр. 389.

будто я согласен со всем тем, что связано с ним в обоих упомянутых докладах, и будто я думаю, что все те опыты, которые там приводятся, являются убедительными доказательствами справедливости указанного принципа. Если бы я считал их таковыми, то не было бы надобности в настоящем исследовании. Кое-кто скажет, может быть, что мне бы следовало полностью разобрать эти доклады, отделить в них то, что я принимаю, от того, что отвергаю, и принести и в том и другом случае веские экспериментальные или теоретические доводы в пользу своего суждения. Но тогда я для той же цели должен был бы пересмотреть и все то, что написано за и против необходимости металлического контакта, за и против происхождения гальванического электричества из химического действия, а это задача, которую я не могу взять на себя в настоящем докладе.¹

ГЛАВА II

О напряжении, необходимом для электролиза

966. Для понимания многих из тех условий, которые имеют отношение к гальваническому действию, необходимо было решить, по возможности окончательно, могут ли электролиты сопротивляться действию электрического тока, если его напряжение лежит ниже определенного значения; является ли напряжение, при котором ток перестает действовать, одинаковым для всех веществ; и далее, будут ли сопротивляющиеся таким образом разложению электролиты после того, как они перестали проводить электрический ток как электролиты, проводить его

¹ Одно время я намеревался привести здесь в виде примечания перечень ссылок на статьи различных исследователей, которые образование электричества в гальваническом элементе приписывали контакту, химическому действию или же тому и другому вместе. Но после опубликования первого тома исключительно важного и ценного «*Traité de l'Electricité et du Magnétisme*» г. Беккереля, я решил, что гораздо лучше отослать к упомянутому труду за такими справками, а также по вопросу о взглядах, которых придерживаются цитируемые авторы. См. стр. 86, 91, 104, 110, 112, 117, 118, 120, 151, 152, 224, 227, 228, 232, 233, 252, 255, 257, 258, 290 и т. д. 3 июля 1834 г.

так, как это делают металлы, или же они будут вести себя, как совершенные изоляторы.

967. Из описанных выше опытов (904, 906) было ясно, что равные вещества разлагаются с различной легкостью и для своего разложения, повидимому, требуют токов различного напряжения, т. е. сопротивляются одним и поддаются действию других. Но еще нужно было с помощью весьма тщательных и специальных опытов решить, может ли ток действительно проходить через электролит, не разлагая его при этом (910).

968. Была собрана установка (рис. 79) (899), в которой два стеклянных сосуда содержали одинаковую разбавленную серную кислоту с удельным весом 1,25. Пластина Z была из амальгамированного цинка, она была соединена с помощью платиновой проволоки a с платиновой пластинкой e ; b — платиновая проволока, соединяющая две платиновые пластины PP' ; c — платиновая проволока, соединенная с платиновой пластинкой P . На пластинку e был положен кусочек бумаги, смоченной раствором иодида калия; проволока c была изогнута так, что конец ее мог при желании ложиться на эту бумагу, и тогда по выделению на ней иода можно было судить, проходит ли ток; помещенная в положение, указанное пунктиром, проволока давала непосредственное соединение с платиновой пластинкой e , и электричество могло проходить, не вызывая разложения. Это делалось с следующими целями: создать ток под действием кислоты на амальгамированный цинк в первом сосуде A ; пропустить его с помощью платиновых электродов через второй сосуд B для того, чтобы можно было обнаружить его способность разлагать воду, если только таковая существует, и чтобы, при желании, можно было по разложению в e убедиться в существовании тока, не вводя постоянного препятствия этому току; а это получилось бы, если бы разложение здесь происходило непрерывно. При проведении опыта существование тока было удостоверено по разложению в e ; после этого конец проволоки c был оставлен лежащим на пластине e , где он образовал постоянное металлическое соединение.

969. По истечении нескольких часов проволока *c* была снова помещена на реактивную бумажку в *e*: разложение наступало, и прохождение тока было таким образом *доказано* полностью. По сравнению с током в начале опыта, ток был очень слаб вследствие того, что металлические поверхности во втором сосуде пришли в особое состояние, которое заставляло их противодействовать проходящему току действием некоторой силы, которая была им присуща при этих условиях (1040). Тем не менее, разложение доказывало, что это состояние пластин во втором сосуде было не в состоянии полностью прекратить возникающий в первом сосуде ток, а в настоящем исследовании больше ничего установить и не требовалось.

970. Время от времени я наблюдал этот прибор, и неизменно оказывалось, что электрический ток через него проходил на протяжении целых двенадцати дней, в течение которых он все время действовал на воду во втором сосуде. Несмотря на такой долгий срок, ни на одной из пластин этого сосуда не появлялось ни малейших следов пузырьков. Результаты этого опыта приводят меня к заключению, что ток *проходил*, но что напряжение его было ниже того, при котором элементы воды отделяются друг от друга без помощи какой-либо вторичной силы, происходящей из способности их соединений с веществом электродов или с окружающей последние жидкостью.

971. Можно предположить, что кислород и водород выделялись в очень малых количествах и потому полностью растворялись в воде или удалялись с поверхности или же, наконец, соединялись, образуя воду. Что водород может таким образом растворяться, было видно по первому сосуду; действительно, по истечении нескольких дней на стеклянном стержне, разделявшем цинк и платину, а также на самой платиновой пластинке, стали постепенно появляться мелкие пузырьки газа, и это был водород. Они возникали преимущественно таким путем: несмотря на амальгамирование цинка, кислота оказывала на него небольшое непосредственное действие, так что от поверхности его постоянно поднималась слабая струя водорода; незначитель-

ная часть этого водорода постепенно растворялась в разбавленной кислоте и частью освобождалась у поверхности стержня и платины в силу известного действия таких твердых веществ в растворах газов (623 и т. д.).

972. Но если бы во втором сосуде вследствие разложения воды образовались газы, и если бы они стремились растворяться, то все же мы имели бы полное основание ожидать, что на поверхности электродов, особенно отрицательного, появится несколько пузырьков, хотя бы уже потому, что этот электрод является центром, где должен образоваться предполагаемый раствор; однако даже по истечении двенадцати дней никаких пузырьков не появлялось.

973. Когда в сосуде *A* (см. рис. 79) добавлялось всего несколько капель азотной кислоты, то получались совсем другие результаты. По истечении менее чем пяти минут на пластинах *P'* и *P''* во втором сосуде появлялись небольшие пузырьки газа. Чтобы доказать, что это было вызвано действием тока (прохождение тока было одновременно установлено испытанием в *e*), соединение у *e* было разомкнуто, пластины *P'* и *P''* были очищены от пузырьков и на пятнадцать минут оставлены в кислоте в сосуде *B*; в течение этого времени пузырьков на них не появлялось; но при восстановлении соединения в *e* не прошло и минуты, как на пластинах появлялся газ в виде пузырьков. Таким образом полностью и окончательно доказано, что ток, возбуждаемый в сосуде *A* смесью разбавленной серной кислоты с небольшим количеством азотной, имеет достаточное напряжение, чтобы преодолеть химическое сродство между кислородом и водородом воды в сосуде *B*; наоборот, ток, возбуждаемый одной разбавленной серной кислотой, достаточным напряжением не обладает.

974. Когда в сосуде *A* для возбуждения тока был взят крепкий раствор едкого кали, с помощью разлагающих действий на *e* было обнаружено, что ток проходит. Однако он не обладал достаточным напряжением, чтобы разлагать воду в сосуде *B*, ибо хотя сосуд и был оставлен на целых четырнадцать дней, в течение которых ток, как оказывалось, проходил все время, тем

не менее, на пластинах P' и P'' не появлялось ни малейших следов газа; и не было никаких других указаний на то, что вода претерпевала разложение.

975. Затем был исследован сульфат натрия в растворе, в целях проверить, требуется ли для его разложения в этом состоянии определенное электролитическое напряжение, по аналогии с результатами, установленными по отношению к воде (974). Устройство прибора видно на рис. 87; P и Z суть платиновая и цинковая пластины, погруженные в раствор доваренной соли; a и b — платиновые пластинки, соединенные с помощью платиновых проволок (за исключением провода гальванометра g)

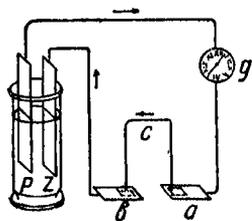


Рис. 87.

с P и Z ; c — соединительная платиновая проволока, концы которой можно класть либо на пластинки a и b , либо на положенные на них смоченные в растворах бумажки; поскольку это зависело от прибора, можно было таким образом по желанию пропускать ток либо без всякого разложения, либо с одним или с двумя разложениями. Чтобы менять аноды и катоды у мест разложения, я иногда пользовался прибором вида, изображенного на рис. 80 (899). Здесь действует только одна платиновая пластинка c ; оба кусочка бумаги, на которых должно происходить разложение, положены на нее, а проволоки от P и Z лежат либо на этих кусочках бумаги, либо на пластинке c , смотря по тому, требовался ли ток с разложением или без разложения растворов.

976. Если в одном из мест разложения поместить раствор иодида калия на бумаге, а в другом — раствор сульфата натрия так, что ток должен проходить через оба одновременно, раствор иодида калия медленно разлагается, выделяя иод у *анода* и щелочь у *катода*, а раствор сульфата натрия не обнаруживает никаких следов разложения, и ни кислота, ни щелочь из него не выделяются. Если проволоки располагались так, что действию тока подвергался один иодид калия (900), последний

быстро и сильно разлагался; а при таком расположении, при котором действию подвергался один сульфат натра, он все же отказывался отдавать свои составные элементы. Наконец, прибор был помещен под влажным стеклянным колоколом и оставлен на двенадцать часов, причем в течение всего времени ток проходил через раствор сульфата натра; последний удерживался на месте только двумя слоями промокательной лакмусовой и куркумовой бумаги. К концу этого времени по разложению иодида калия во втором испытательном пункте было установлено, что ток проходил и что он проходил в течение всех двенадцати часов, и, тем не менее, никаких следов кислоты или щелочи из сульфата натра не появилось.

977. Я полагаю, что на основании этих опытов можно заключить, что раствор сульфата натра в состоянии пропускать такой ток электричества, который не способен разложить присутствующую нейтральную соль, что, подобно воде, эта соль, находясь в растворе, требует для своего разложения определенного электролитического напряжения, и что для данного вещества это напряжение значительно выше, чем для иодида калия в таком же растворенном состоянии.

978. Затем я производил опыты с веществами, которые делал разложимыми посредством расплавления, и прежде всего с хлоридом свинца. Ток возбуждался разбавленной серной кислотой, без азотной кислоты, между цинковой и платиновой пластинами (рис. 88), и затем пропускался через небольшое количество хлорида свинца, расплавленного на стекле *a*, через смоченную раствором иодида калия бумажку *y* и через гальванометр *g*. Металлические концы в *a* и *b* были из платины. При таком расположении разложение у *b* и отклонение в *g* указывали, что ток проходит, но никаких признаков разложения в *a* не получалось, даже после того, как в *b* было произведено *металлическое* соединение. Опыт был повторен несколько раз, и я прихожу к заключению, что в этом случае напряжение тока было недостаточно

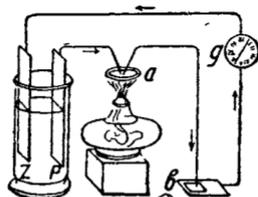


Рис. 88.

для того, чтобы вызвать разложение хлорида свинца; и далее, что расплавленный хлорид свинца, подобно воде (974), может проводить электрический ток, обладающий напряжением ниже того, которое требуется, чтобы произвести его разложение.

979. Затем вместо хлорида свинца, в *a* (см. рис. 88) был помещен *хлорид серебра*. В *b* разложение раствора иодида калия происходило с большой легкостью, а когда в этой точке был замкнут металлический контакт, то последовало весьма значительное отклонение гальванометра *g*. Повидимому, у анода расплавленного хлорида серебра в *a*, кроме того, растворялась платина, и имелись все признаки того, что там произошло разложение.

980. Дальнейшее доказательство разложения было получено следующим образом. Платиновые проволоки в расплавленном хлориде серебра в точке *a* были сильно сближены (в *b* в это время был устроен металлический контакт) и оставлены в таком положении; отклонение гальванометра указывало на прохождение слабого, но постоянного тока. Однако по истечении одной — двух минут стрелка внезапно сильно отклонялась и отмечала такой сильный ток, как будто бы в *a* произошло металлическое соединение. Я нашел, что так в действительности и было, так как восстановившееся под действием тока серебро кристаллизовалось в виде длинных тонких иголок, которые в конце концов и произвели металлическое соединение; и тем самым, что они пропускали через себя более сильный ток, чем расплавленный хлорид серебра, они доказывали, что произошло разложение этого хлорида. Отсюда вытекает, что ток, возбуждаемый разбавленной серной кислотой между цинком и платиной, обладает большим напряжением, чем то, которое требуется для электролиза расплавленного хлорида серебра, хотя этого напряжения и недостаточно для разложения при тех же условиях хлорида свинца.

981. Помещенная в *a* вместо расплавленных хлоридов капля воды показывала, как и в предыдущем случае (970), что вода может проводить ток, не способный разложить ее, так как по

истечении некоторого времени в *b* наступало разложение иодида. Но проводимость воды была значительно ниже проводимости расплавленного хлорида свинца (978).

982. Помещенная в *a* расплавленная *селитра* проводила ток значительно лучше, чем вода; я не мог с уверенностью решить, претерпевала ли она электролиз, но склонен думать, что нет, так как около платины у *катода* не наблюдалось обесцвечивания. Если в возбуждающем сосуде была серно-азотная кислота, то как селитра, так и хлорид свинца претерпевали разложение, подобно воде (906).

983. Полученные таким образом результаты, т. е. существование проводимости без разложения и необходимость определенного электролитического напряжения для разделения *ионов* различных электролитов, непосредственно связаны с опытами и выводами, приведенными в разделе 10 четвертой серии настоящих исследований (418, 423, 444, 449). Однако для того, чтобы подробно и полностью уяснить эту связь, требуются более точные сведения о природе напряжения как в отношении первопричины электрического тока, так и в отношении того, каким образом напряжение его может быть уменьшено или понижено путем введения более длинных или более коротких отрезков плохих проводников, все равно — подверженных или не подверженных разложению.

984. Произведенные мною до сих пор опыты показывают, повидимому, что при опытах с водой, когда напряжение электрического тока уменьшено ниже требуемого для разложения предела, степень проводимости бывает одна и та же, независимо от того, присутствует или отсутствует серная кислота или какое-нибудь другое из многочисленных веществ, способных действовать на способность воды к электролитическому переносу. Другими словами, необходимое для воды электролитическое напряжение одинаково, независимо от того, какова эта вода: чиста она или же проводимость ее повышена добавлением указанных веществ. Был устроен изображенный на рис. 84 прибор; в сосуде *A* имелась разбавленная серная кислота, а в со-

суде *B* — чистая дистиллированная вода. Судя по разложению в *e*, можно было думать, что для тока столь малого напряжения, которое не вызывает разложения, вода является *лучшим* проводником, чем разбавленная серная кислота. Однако это кажущееся превосходство воды я склонен приписать изменениям в том особом состоянии платиновых электродов, о которых упоминается дальше в этой серии (1040) и которое, насколько я могу судить, приобретает ими в разбавленной серной кислоте в более высокой степени, чем в чистой воде. Поэтому способность кислот, щелочей солей и других растворенных веществ повышать проводимость, повидимому, сохраняет свою силу только в тех случаях, когда подвергаемый действию тока электролит претерпевает разложение, и теряет всякое значение, когда напряжение передаваемого тока слишком низко для того, чтобы вызвать химические изменения. Возможно, что обычная проводимость электролита в твердом состоянии (419) не отличается от проводимости его в жидком состоянии для таких токов, напряжение которых ниже требуемого электролитического напряжения.

985. Если пропускать токи последовательно через три или четыре сосуда, в которых между платиновыми поверхностями помещена вода, и если эти токи производятся менее чем восьмью или девятью гальваническими элементами, то напряжение токов удастся ослабить до такой величины, при которой вода оказывается в состоянии проводить их, не претерпевая разложения. Причины, которыми это явление обусловлено, будут описаны ниже (1009, 1018); но явление это может оказаться полезным для получения токов стандартного напряжения; оно, вероятно, применимо к батареям с любым числом пар пластин.

986. Имеются все основания ожидать, что все электролиты окажутся подчиненными закону, по которому для их разложения требуется электрический ток определенного напряжения, но что они будут отличаться друг от друга по степени необходимого напряжения; поэтому в дальнейшем желательно расположить их в виде таблицы, в порядке их электролитических

напряжений. Однако, прежде чем можно будет составить такую таблицу, исследования по этому вопросу должны быть значительно расширены и охватить значительно большее количество веществ, чем их упомянуто здесь. В особенности при таких опытах следует указывать природу электродов, или же, если это возможно, подбирать такие электроды, которые, подобно тому, как ведут себя в известных случаях платина или графит, не будут способствовать разделению выделяющихся ионов (913).

987. Из тех двух путей, которыми тела могут передавать электрические силы, — одного, который столь характерно проявляется в металлах и обычно называется проводимостью, и другого, который сопровождается разложением, — первый является, повидимому, общим для всех тел, хотя и встречается в почти бесконечном разнообразии степеней; второй в настоящее время является отличительным признаком электролитов. Однако вполне возможно, что в дальнейшем он будет распространен и на металлы, так как их способность проводить ток без разложения может быть не без основания приписан тому, что они для своего разложения требуют очень высокого электролитического напряжения.

987'. Если мы установим принцип, что для разложения необходимо определенное электролитическое напряжение, это окажется весьма важным для различнейших соображений, касающихся вероятного действия слабых токов, например тех, которые производятся природным термоэлектричеством или природными гальваническими парами в земле. В самом деле, чтобы произвести разложение или соединение, ток должен не только существовать, но и обладать определенным напряжением; в противном случае он не может преодолеть противодействующие ему покоящиеся силы химического сродства; тогда ток будет проходить, не производя постоянных химических действий. С другой стороны, теперь становится ясным, что можно ослабить противодействие, сближая тела, сродства которых не вполне хватает, чтобы заставить их действовать друг на друга непосредственно (913). Ослабление может быть настолько велико, что

уже весьма слабый ток окажется в состоянии в достаточной мере усилить совокупность действий и вызвать химические изменения.

988. В заключение настоящего раздела о *необходимом для электролиза напряжении* я непременно должен указать следующий замечательный вывод, касающийся напряжения вообще. Казалось бы, что когда производится гальванический ток определенного напряжения, обусловленного величиной сил химического сродства, которым этот ток возбуждается (916), то он может разложить данный электролит независимо от количества прошедшего электричества, причем вопрос о том, разлагается электролит или нет, зависит от *напряжения*. Если бы это заключение подтвердилось, то можно бы создать условия, при которых *одно и то же количество* электричества будет проходить в течение *одного и того же промежутка времени* через *одну и ту же площадь* в *одно и то же разлагаемое вещество*, находящееся в *одном и том же состоянии* и все же, в зависимости от различного напряжения, *в одном случае оно будет производить разложение, а в другом — не будет*. В самом деле, возьмем источник с слишком низким для разложения напряжением и определим количество прошедшего за данный промежуток времени электричества; потом можно взять другой источник, обладающий достаточным напряжением; включая плохие проводники, можно уменьшить количество электричества от него до размеров первого тока; тогда будут выполнены все условия, которые требуются для получения описанного результата.

ГЛАВА III

О составных гальванических цепях, или гальванической батарее

989. Переходим от рассмотрения простых цепей (875 и т. д.) к их соединению в гальваническую батарею; совершенно очевидно, что если устроить так, чтобы две системы сил химического сродства не противодействовали друг другу, как это изображено на рис. 73, 76 (880, 891), а действовали согласно, то каждая из них вместо того, чтобы мешать другой, будет, наоборот, помогать

ей. Такой простой случай мы имеем, когда две гальванические пары металлов расположены таким образом, что образуют одну цепь. При таком устройстве активность всей системы, как известно, возрастает, и если соответствующим образом соединить друг с другом десять, сто или любое большее число таких звеньев, то мощность всей системы в той же мере возрастает, и мы получаем прекрасный прибор для научных изысканий — гальваническую батарею.

990. Но из изложенных выше принципов определенности действия очевидно, что при увеличении *количества металла*, окисленного и растворенного на каждом новом участке химического действия, *количество* электричества в цепи увеличено быть не может. Одна пара пластин из цинка и платины в результате окисления 32.5 грана цинка (868) отдает в виде тока столько же электричества, сколько было бы приведено в движение таким же изменением в тысячу раз большего количества, т. е. около пяти фунтов металла, окисленного на поверхности тысячи пар цинковых пластин, расположенных в том порядке, как обычно в батареях. В самом деле, очевидно, что электричество, которое проходит через кислоту в первом элементе от цинка к платине, и которое находилось в некоторой связи, а может быть даже было обусловлено разложением определенного количества воды в этом элементе, может пройти от цинка к платине через кислоту во втором элементе только при том условии, что там разложится такое же количество воды и окислится такое же количество цинка (924, 949). Те же самые результаты повторяются в любом другом элементе; в каждом из них должен быть разложен электрохимический эквивалент воды; только тогда ток сможет пройти через элемент, ибо количество прошедшего электричества и количество разложенного электролита *должны* быть эквивалентны друг другу. Таким образом действие в каждом элементе заключается не в том, чтобы увеличивать количество электричества, приводимого в движение в каждом элементе, а в том, чтобы способствовать продвижению вперед того количества, прохождение которого соответствует окислению цинка в нем самом. Таким

путем усиливается то особое свойство тока, которое мы намеренно выражаем термином *напряжение*, количество же не увеличивается свыше того, которое пропорционально количеству цинка, окисляющегося в каждом отдельном элементе ряда.

991. Чтобы это доказать, я расположил в форме батареи десять пар амальгмированных цинковых и платиновых пластин в разбавленной серной кислоте. При замыкании цепи все пары работали и выделяли у платиновых поверхностей газ. Этот газ был собран, и оказалось, что количество его у всех пластин было одинаково; при этом количество выделяющегося у каждой из платиновых пластин водорода находилось в таком же отношении к количеству растворяющегося у каждой из цинковых пластин металла, как и в опыте с одной парой пластин (864 и т. д.). Поэтому было несомненно, что через цепь из десяти пар пластин прошло не больше, а ровно столько же электричества, сколько проходило или сколько было приведено в движение при одной паре, а между тем при этом было израсходовано в десять раз больше цинка.

992. Истина эта уже давно была доказана другим путем, а именно действием развиваемого тока на магнитную стрелку. Отклоняющая сила каждой пары пластин равна отклоняющей силе всей батареи; только провода должны быть достаточной толщины, чтобы пропустить свободно ток от одной пары. Но *причина* этого равенства действия в то время оставалась неясной, так как оставалась неизвестной определенность действия и возбуждения электричества (783, 869).

993. Превосходство батареи над отдельной парой пластин в отношении разлагающей способности обнаруживается двумя путями. Когда химическое средство, удерживающее электролиты в соединении, достаточно сильно для того, чтобы противостоять действию тока от одной пары пластин, эти электролиты отдают свои элементы под действием тока, возбуждаемого большим количеством таких пар, а вещество, которое разлагается под действием одной или нескольких пар металлов и т. п., распадается на свои *ионы* с большей легкостью тогда, когда электри-

чество, которое на него действует, приводится в движение многими элементами.

994. Я полагаю, что оба эти эффекта легко объяснить. В чем бы ни заключалось *напряжение* (а это, конечно, зависит от природы электричества, все равно, представляет ли оно собой жидкость или жидкости, или же колебания некоего эфира, или какой-нибудь другой вид или состояние материи), нетрудно, думается, понять, что *степень* напряжения того тока, который возбуждается первым гальваническим элементом, должна повыситься, когда он подвергается действию второго гальванического элемента, действующего согласно с первым и обладающего одинаковыми свойствами. Поскольку же разложения представляют собой действия, противоположные тем, которые создают ток (917), но в точности такого же рода, постольку естественно заключить, что то средство, которое может противостоять силе всего одного разлагающего действия, может и не быть в состоянии противиться энергии их разлагающих действий, если они направлены согласно, как в гальванической батарее.

995. То обстоятельство, что вещество, которое разлагается током слабого напряжения, с большей легкостью поддается действию более мощного тока, отнюдь не противоречит закону определенности электрохимического действия, а вполне с ним согласуется. Совокупность фактов, а равно и теория, которую я имел смелость выдвинуть, указывают на то, что процесс разложения оказывает определенное противодействие прохождению электрического тока, а то, что это препятствие преодолевается с большей или меньшей легкостью в зависимости от большего или меньшего напряжения разлагающего тока, вполне согласуется со всеми нашими представлениями об электрическом агенте.

996. Уже в другом месте (947) я разделял химическое действие цинка и разбавленной серной кислоты на две части: первую, когда действие оказывают прямо на цинк и оно сопровождается одновременным выделением на поверхности последнего водорода, и вторую, при которой на протяжении всего имеюще-

гося электролита (в данном случае воды) создается группировка химических сил и обнаруживается стремление отнять у электролита кислород, что, однако, возможно только в том случае, если появляющийся в результате этого действия электрический ток может свободно проходить, и если водород будет выделяться где-либо в другом месте, а не у цинка. Электрический ток соответствует, безусловно, второй части этих действий. Но когда электрический ток имеет возможность проходить, он, благоприятствуя электролитическому действию, ослабляет действие первого рода и усиливает действие второго рода.

997. Таким образом ясно, что при пользовании обыкновенным цинком в гальваническом приборе происходит огромная потеря той силы, которая должна проявиться в виде электрического тока; этот вывод становится особенно убедительным, если учесть, что при соответствующем окислении три с половиной унции цинка могут привести в движение количество электричества, достаточное для разложения приблизительно одной унции воды и выделения примерно 2400 кубических дюймов водорода. Эта потеря силы имеет место не только в течение того промежутка времени, когда электроды батареи находятся в соединении (тогда она пропорциональна количеству водорода, выделяющегося у поверхности каждой из цинковых пластин), но охватывает собой и все те химические действия, которые продолжаются и тогда, когда концы элемента не соединены друг с другом.

998. Как показал г. де ля Рив,¹ эта потеря значительно выше при употреблении продажного цинка, чем при опытах с чистым металлом. Причина этого лежит в том, что когда разбавленная серная кислота действует на продажный цинк, то содержащиеся в нем частицы меди, свинца, кадмия или других металлов выделяются на его поверхности; соприкасаясь с цинком, они образуют небольшие, но весьма активные гальванические цепи, которые вызывают сильное разрушение цинка и выде-

¹ Quarterly Journal of Science, 1831, стр. 388; Bibliothèque Universelle, 1830, стр. 391.

ление водорода; на первый взгляд, последнее происходит на поверхности цинка, в действительности же — на поверхности этих случайных металлов. В той же мере, в какой они содействуют замыканию или обратному проведению электричества к цинку, они уменьшают его способность производить такой электрический ток, который должен идти через кислоту на более значительное расстояние и замкнуться только через медную или платиновую пластину, связанную с цинковой и вместе с ней образующую гальванический прибор.

999. Все эти недостатки устраняются при употреблении амальгамы цинка по способу, рекомендованному г. Кемпом (Кемр),¹ или при пользовании амальгамированными цинковыми пластинами г. Стёрджена (863), который сам и предлагал их, и возражал против пользования ими в гальванических батареях; он говорил: «Если бы не хрупкость и другие неудобства, причиняемые введением ртути в цинк, то амальгамирование цинковых поверхностей в гальванических батареях было бы значительным улучшением, так как металл сохранялся бы значительно дольше; он в течение долгого времени, даже несколько часов подряд, оставался бы блестящим — существенное соображение при пользовании этим прибором».²

1000. Обработанный таким образом цинк, хотя бы даже не вполне чистый, не вызывает заметного разложения воды, содержащейся в разбавленной серной кислоте, но сродство к кислороду, которым он обладает, таково, что как только в кислоте с ним соприкасается металл, обладающий, подобно меди или платине, слабым сродством к кислороду или совсем им не обладающий, начинается действие и производится мощный и обильный электрический ток. Возможно, что действие ртути, в силу ее жидкого состояния, заключается в том, что она приводит

¹ Jameson's Edinburgh Journal, октябрь 1828 г.

² Recent Experimental Researches, стр. 42 и т. д. Г-н Стёрджен, конечно, не знает об определенности образования электричества химическим действием; он приводит этот опыт в качестве самого сильного аргумента против химической теории гальванизма.

поверхность в однородное состояние и мешает образованию тех различий в свойствах одного участка поверхности по сравнению с другим, которые необходимы для образования упомянутых небольших гальванических цепей (998). Если в первый момент и существует какое-либо различие в относительных количествах цинка и ртути на одном участке *поверхности* по сравнению с другим, то тот участок, где имеется меньше всего ртути, первый поддается воздействию и, вследствие растворения цинка, вскоре приходит в такое же состояние, как и остальные участки поверхности, и вся поверхность пластины становится однородной. Поэтому ни одно место ее не может служить для разряда другого, а потому *вся* химическая сила, действующая на воду у поверхности пластины, находится в одинаковых условиях (949); тогда эта сила стремится создать электрический ток по направлению через жидкость к другой металлической пластине, способной служить для разряда тока (950), но нет налицо неоднородностей, вследствие которых один какой-либо участок, обладающий более слабым сродством к кислороду, мог бы служить для разряда другого. Это состояние металла приводит к двум замечательным и важным последствиям. Первое заключается в том, что за счет окисления определенного количества цинка получается *полный эквивалент* электричества, а второе в том, что батарея с обработанным таким образом цинком, залитая разбавленной серной кислотой, действует только тогда, когда ее электроды соединены друг с другом; она перестает действовать и подвергаться действию кислоты в момент замыкания.

1001. У меня была небольшая батарея из десяти пар изготовленных таким образом пластин, и я убежден, что устройства такого рода окажутся весьма ценными, особенно при разработке и объяснении научных основ этого прибора. Металлы, которыми я пользовался, были амальгамированный цинк и платина, соединенные друг с другом припаянными к ним платиновыми проволоками, причем весь прибор имеет форму, известную под названием *cougonne des tasses*. Жидкостью для батареи служила разбавленная серная кислота с удельным весом 1,25. Дей-

ствие на металлы происходило только тогда, когда электроды находились в соединении, и в этом случае действие на цинк было пропорционально только разложению в опытном сосуде, так как, когда ток задерживался в нем, то он задерживался также и в батарее, и потери в силе металла не происходило.

1002. Благодаря этому кислота в элементах сохраняла способность к действию гораздо дольше, чем обычно. Фактически эта способность не убывала заметно со временем, ибо металл предохранялся от действия на него кислоты до нужного момента, а потому и кислота тоже почти целиком сохраняла свою первоначальную силу. Отсюда постоянство действия, значительно превосходящее то, которое можно получить при пользовании обыкновенным цинком.

1003. Другим замечательным следствием было восстановление во время перерыва между двумя опытами первоначального наиболее активного состояния. В момент соединения амальгамированной цинковой и платиновой пластин, погруженных в разбавленную серную кислоту, проходящий ток очень силен, но тут же сила его убывает весьма значительно и в некоторых случаях падает фактически до одной восьмой или одной десятой первоначального значения (1036). Это обусловлено тем, что соприкасающаяся с цинком кислота нейтрализуется за счет образующегося окисла, чем предотвращается непрерывное быстрое окисление металла. Когда пластинка была из обыкновенного цинка, в результате выделения газа у его поверхности вся жидкость перемешивается, и таким образом к металлу подводится свежая кислота, которая может удалить образовавшийся здесь окисел. Когда батарея работает с амальгамированным цинком, при каждом прекращении тока раствор соли у цинка постепенно диффундирует в остальную жидкость, и по возобновлении контакта у электродов цинковые пластины оказываются в условиях, весьма благоприятных для того, чтобы легко произвести сильный ток.

1004. На первый взгляд могло бы показаться, что амальгамированный цинк по силе окажется значительно слабее обык-

новенного, вследствие понижения его энергии; можно было бы предположить, что такое положение вызывается ртутью на всей его поверхности; однако это не так. Когда электрические токи от двух пар платиновых и цинковых пластин были направлены навстречу друг другу — стой, однако, разницей, что одна из цинковых пластин была амальгамирована, а другая нет, — то ток от амальгамированного цинка был очень силен, хотя газа около него и не выделялось, тогда как у поверхности неамальгамированного металла его выделялось много. Далее, как показал Дэви,¹ если амальгамированный и неамальгамированный цинк привести в соприкосновение и погрузить в разбавленную серную кислоту или другую возбуждающую жидкость, то первый оказывается по отношению к последнему положительным, т. е. ток от амальгамированного цинка через жидкость проходит к необработанному цинку. Дэви объясняет это предположением, что «электрические качества обусловлены не каким-либо присутствием каждому металлу природным, ему принадлежащим свойством, а особым его состоянием — той его структурой, которая делает его приспособленным к химическому изменению».

1005. Однако причины, обуславливающие превосходство амальгамированного цинка, заключаются не в этом; последнее является простым следствием состояния жидкости, находящейся с ним в соприкосновении; а именно, если необработанный цинк действует на жидкость один и сам по себе, тогда как с амальгамированным цинком дело обстоит иначе, то это потому, что первый (с помощью образуемого им окисла) быстро нейтрализует соприкасающуюся с его поверхностью кислоту, так что процесс окисления задерживается; наоборот, всякий окисел, образующийся на поверхности амальгамированного цинка мгновенно удаляется присутствующей свободной кислотой, и металлическая поверхность всегда чиста и готова с полной энергией действовать на воду. Отсюда превосходство амальгамированного цинка (1037).

¹ Philosophical Transactions, 1826, стр. 405.

1006. В настоящее время постепенное усовершенствование гальванической батареи и ее применений развивается, очевидно, в направлении, обратном тому, в котором оно шло несколько лет тому назад, ибо вместо увеличения числа пластин, крепости кислоты и размеров прибора в целом, изменения направлены скорее в сторону первоначальной простоты, однако с значительно более глубоким знанием и применением тех принципов, которые управляют силой и действием батареи. Разложения, для которых раньше требовалось пятьсот или тысяча пластин, можно теперь получать с помощью десяти пар (417). Способность разлагать расплавленные хлориды, иодиды и другие соединения, в соответствии с установленным ранее законом (380 и т. д.), и возможность улавливания известных продуктов разложения, без каких-либо потерь, с помощью приборов описанного выше вида (789, 814 и т. д.), все это создает вероятность, что гальваническая батарея станет полезным или даже выгодным промышленным прибором; в самом деле, теория ясно доказывает, что один эквивалент редкого вещества можно получить при затрате трех или четырех эквивалентов весьма распространенного вещества, а именно цинка; и пока что практика, повидимому, оправдывает эти ожидания. С этой точки зрения я считаю весьма вероятным, что вместо медных пластин можно будет с успехом пользоваться пластинами из платины или серебра, и тогда будут устранены неудобства, возникающие иногда из-за растворения меди и осаждения ее на цинке, что так вредно отзывалось на электродвижущей силе цинка (1047).

ГЛАВА IV

О сопротивлении электролита электролитическому действию и о введении промежуточных пластин

1007. На ряде возможно простых опытов (891, 910) я показал то сопротивление, которое встречает в месте разложения сила, действующая в месте возбуждения. Я предполагаю рассмотреть действия этого сопротивления с более общей точки зрения, но скорее в отношении того взаимодействия, в котором

они практически оказываются с действием гальванической батареи и с происходящими в ней явлениями, а не с намерением дать здесь строгое и научное объяснение природы этого сопротивления. Общей и главной причиной его является сопротивление подлежащих преодолению сил химического сродства; однако наряду с этими силами имеется множество других обстоятельств,



Рис. 89.

которые присоединяют сюда свое влияние (1034, 1040 и т. д.); каждое из них потребовало бы подробного изучения, и только после этого можно было бы дать правильное объяснение явления в целом.

1008. Так как целесообразно будет дать описание опытов в виде, несколько отличающемся от того, в котором они были произведены, то сначала надо изложить и тот и другой. Пластины из платины, меди, цинка и других металлов, примерно в три четверти дюйма шириной и в три дюйма длиной, были соединены попарно при помощи припаянных к ним платиновых проволочек (рис. 89); при этом пластины одной и той же пары были либо одинаковы, либо различны, смотря по надобности. Эти пластины были помещены в стеклянные сосуды (рис. 90) таким образом, чтобы образовать вольтову *cougonne des tasses*. Кислота или вообще жидкость в сосуде никогда не покрывала пластину, и иногда для предотвращения контакта между пластинами вставлялись тонкие стеклянные палочки. Заканчивали ряд одинаковые пластины; они устанавливали соединение с гальванометром, с прибором для разложения (899, 968 и т. д.) или с тем и другим. Теперь, если всмотреться в рис. 91 и рис. 92 и сравнить их друг с другом, то можно последний рассматривать, как первый в его простейшем виде, так как стаканчики I, II и III первого рисунка, вместе с их содержимым, во втором представлены элементами I, II и III, а металлические пластины *Z* и *P* первого изображены подобными же пластинами *Z* и *P* во втором. Единственное различие между приборами, изображенными на рис. 91 и 92, фактически заключается в том, что в первом обеспечивается вдвое большая



Рис. 90.

поверхность соприкосновения между металлом и кислотой, чем во втором.

1009. Когда крайние пластины только что описанной установки (см. рис. 91) металлически соединены друг с другом через гальванометр *g*, то все как целое представляет собой батарею из двух пар цинковых и платиновых пластин, дающих ток, но прежде чем этот ток пройдет через элемент III, и, следовательно, прежде чем он может пройти через всю цепь, он должен без помощи какого-либо прямого химического средства разложить воду. Ради удобства можно считать, что это разложение воды, которое препятствует прохождению тока, имеет место или у поверхности двух платиновых пластин, образующих электроды в элементе III, или у обеих поверхностей той платиновой пластины, которая на рис. 92 отделяет друг от друга элементы II и III. Очевидно, что без этой пластины батарея состояла бы из двух пар пластин и двух элементов, расположенных наиболее благоприятным для создания тока образом. Поэтому платиновую пластину, которая, будучи введена, например, в *x*, выделяет на одной поверхности водород, а на другой — кислород (т. е. при прохождении разлагающего тока), можно считать причиной препятствия, возникающего в связи с разложением воды под электролитическим действием тока; я обычно называл ее промежуточной пластиной.

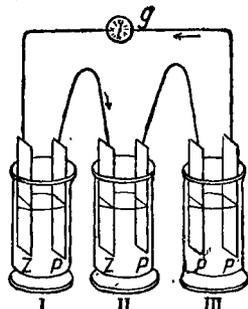


Рис. 91.

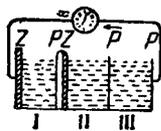


Рис. 92.

1010. Для упрощения условий сначала во всех элементах бралась разбавленная серная кислота, а в качестве промежуточных пластин — платина, ибо тогда напряжение стремящегося возникнуть тока, обусловленное способностью цинка разлагать воду, является постоянным, а противодействующая сила разложения так же постоянна, так как при разделении элемента воды у промежуточных пластин не

принимают участия ни химическое сродство, ни какое-либо вторичное действие у электродов (744), зависящее от природы самой пластины или окружающей ее жидкости.

1011. Когда я пользовался всего одной гальванической парой пластин, цинковой и платиновой, ток электричества практически полностью прекращался при внесении одной платиновой пластины (рис. 93), т. е. от тока требовалось, чтобы он до своего прохождения разложил воду и выделил оба ее элемента. Этот результат находится в полном согласии с изложенными выше взглядами (910, 917, 973). В самом деле, поскольку результат целиком обусловлен взаимной противоположностью сил в местах электрического возбуждения и в местах электроразложения, и поскольку в обоих местах веществом, подлежащим разложению, прежде чем ток сможет пройти, является вода, постольку нельзя ожидать, чтобы цинк обладал таким сильным притяжением к кислороду, чтобы не только быть в состоянии отнять его от связанного с ним водорода, но чтобы оставить после этого такой излишек силы, который способен при прохождении тока через второе место разложения повторно произвести разделение элементов воды. Для такого эффекта потребовалось бы, чтобы сила притяжения между цинком и кислородом при таких условиях была, *по крайней мере*, в два раза больше, чем сила притяжения между кислородом и водородом.

1012. В случаях двух пар возбуждающих цинковых и платиновых пластин, внесение одной промежуточной платиновой пластины (рис. 94) также практически прекращало ток. Сначала появлялось очень слабое действие тока, но оно почти сейчас же исчезало. К этому, а также ко многим другим подобным действиям я вернусь позднее (1017).

1013. Три пары цинковых и платиновых пластин (рис. 95) оказались в состоянии производить ток, который мог пройти через промежуточную платиновую пластину и произвести электролиз воды в элементе IV. О наличии тока свидетельствовали как непрерывное отклонение гальванометра, так и образование у электродов элемента IV пузырьков кислорода и водорода.

Значит, соединенный излишек силы трех цинковых пластин, производящих разложение воды, превосходит, вместе взятый, ту силу, с которой кислород и водород соединены в воде, и оказывается достаточным для того, чтобы вызвать разделение этих элементов.

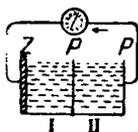


Рис. 93.

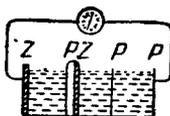


Рис. 94.

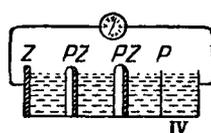


Рис. 95.

1014. Затем трем парам цинковых и платиновых пластин были противопоставлены две промежуточные пластины (рис. 96). В этом случае ток прекращался.

1015. Четыре пары цинковых и платиновых пластин также нейтрализовались двумя промежуточными платиновыми пластинами (рис. 97).

1016. Пять пар цинковых и платиновых пластин с двумя промежуточными платиновыми пластинами (рис. 98) давали сла-

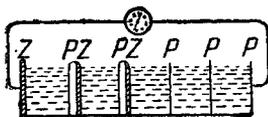


Рис. 96.

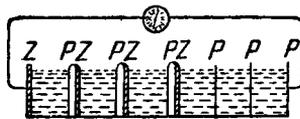


Рис. 97.

бый ток: именно, постоянное отклонение гальванометра и разложение в элементах VI и VII. Однако ток был очень слаб — гораздо слабее, чем при удалении всех промежуточных пластин, с сохранением одних только крайних; в самом деле, при расположении их на расстоянии шести дюймов друг от друга в одном элементе они давали сильный ток. Следовательно, пять возбуждающих пар, при наличии двух промежуточных препятствую-

щих пластин, не дают тока сколько-нибудь сравнимого с током одной пары без таких препятствий.

1017. Я уже говорил, что в том случае, когда система состояла из одной промежуточной платиновой и двух пар цинковых и платиновых пластин, проходил *очень слабый ток* (1012). Такой же слабый ток проходил всегда; даже при одной возбуждающей паре и четырех промежуточных платиновых пластинах (рис. 99) проходил ток, который можно было обнаружить у x как по химическому действию на раствор иодида калия, так и с помощью гальванометра. Я полагаю, что этот ток обусловлен электричеством, напряжение которого опустилось ниже предела, требуемого для разложения воды (970, 984); в самом деле,

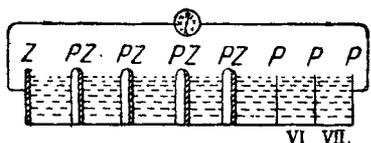


Рис. 98.

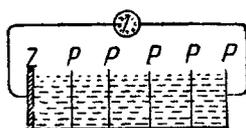


Рис. 99.

благодаря свойству, которое она разделяет с металлами и древесным углем, вода может проводить электричество такого низкого напряжения, хотя электричество более высокого напряжения она не может проводить, не претерпевая разложения, вследствие которого возникает новая противодействующая сила. Возможно, что при электрическом токе такого или еще меньшего напряжения, увеличение числа промежуточных пластин не повлекло бы за собой возрастания затруднений для прохождения тока.

1018. Чтобы получить представление о возрастании противодействующей силы с каждой добавленной пластиной, было взято шесть гальванических пар и четыре промежуточных платиновых пластины; они были расположены, как показано на рис. 100; в этом случае проходил слабый ток (985, 1017). При удалении одной из платиновых пластин, так что их оставалось всего три,

проходил несколько более сильный ток. При двух промежуточных пластинах проходил еще более сильный ток, а при одной промежуточной пластине получался очень значительный ток. Однако, как и можно было ожидать, действие последовательных пластин, взятое в порядке их включения, было весьма различным, ибо первая задерживала ток сильнее чем вторая, а вторая — сильнее чем третья.

1019. В этих опытах я пользовался как амальгмированным, так и неамальгмированным цинком, но в общем результаты были одни и те же.

1020. Только что описанные явления задержки тока совершенно менялись вместе с *природой жидкости*, налитой между

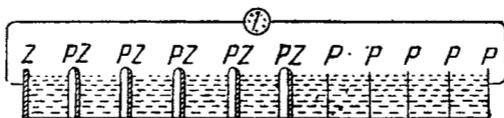


Рис. 100.

пластинами как в *возбуждающих* (мы будем их так называть), так и в *задерживающих* элементах. Так, я оставлял возбуждающую силу одинаковой и для этой цели постоянно пользовался чистой разбавленной серной кислотой, а к жидкости в задерживающих элементах добавлял немного азотной кислоты; тогда расхождение тока очень сильно облегчалось. Так, например, в опыте с одной парой возбуждающих пластин и одной промежуточной пластиной (1011) (см. рис. 92), когда в содержимое элемента II было добавлено несколько капель азотной кислоты, ток электричества проходил со значительной силой (хотя по другим причинам (1036, 1040) он вскоре падал), и такое же усиление азотная кислота производила при большем числе промежуточных пластин.

1021. Повидимому, это обстоятельство является следствием того, что разложение воды встречает меньше затруднений в слу-

чае, когда ее водород не выделяется до конца, как в предыдущих опытах, а переносится к кислороду азотной кислоты, образуя у *катода* (752) вторичный продукт разложения. В самом деле, в соответствии с изложенными ранее химическими представлениями об электрическом токе и его действии (913), сила, с которой вода сопротивляется разложению, уже не равна силе взаимного притяжения кислорода и водорода воды; она частью уравновешивается и, следовательно, уменьшается притяжением водорода у *катода* к кислороду окружающей азотной кислоты; с этим кислородом водород в конце концов и соединяется вместо того, чтобы выделяться в свободном состоянии.

1022. Если ввести немного азотной кислоты в возбуждающие элементы, то опять-таки обстоятельства, благоприятствующие передаче тока, усиливались, так как благодаря такому добавлению повышалось *напряжение* тока (906). Поэтому, когда немного азотной кислоты добавлялось как в *возбуждающие*, так и в *задерживающие* элементы, то ток электричества проходил весьма свободно.

1023. Когда я пользовался разбавленной соляной кислотой, образование и прохождение тока шло с большей легкостью, чем в чистой разбавленной серной кислоте, но не так легко, как в разбавленной азотной. Поскольку соляная кислота, повидимому, разлагается лучше воды (765), и поскольку сродство цинка к хлору очень сильно, можно было ожидать, что она произведет ток более сильный, чем разбавленная серная кислота, и что она, претерпевая разложение при более низком напряжении (912), будет передавать ток более свободно.

1024. Говоря о действии таких промежуточных пластин, необходимо отметить, что оно, повидимому, совсем не зависит от размера электродов или их взаимного расстояния в кислоте, если не считать того, что когда ток в состоянии пройти, то изменение этих величин облегчает или же затрудняет его прохождение. И в самом деле, я повторял опыт с одной промежуточной пластиной и одной парой возбуждающих пластин (1011) — см. рис. 92, — при этом заменяя промежуточную пластину *P* с одной

стороны простой проволокой, с другой — очень большими пластинами (1008); я изменял также крайние возбуждающие пластины так, что они представляли собой в одних случаях простые проволоки, а в других — пластины больших размеров; результаты, тем не менее, получались те же, что и раньше.

1025. Для иллюстрации действия расстояния я поставил опыт, подобный описанному ранее опыту с двумя возбуждающими парами и одной промежуточной пластиной (1012), — см. рис. 94; при этом расстояние между пластинами в третьем элементе можно было увеличить до шести или восьми дюймов или уменьшить до толщины проложенного между ними листа пропускной бумаги. Тем не менее, в обоих случаях результат был одинаковый; и когда пластины были разделены одной бумагой, действие не было заметно сильнее, чем когда они находились друг от друга на значительном расстоянии; таким образом главное противодействие току в этом случае зависит не от количества промежуточного электролитического проводника, а от *отношения его элементов к напряжению тока* или к химической природе электродов и окружающих жидкостей.

1026. Когда жидкостью служила серная кислота, то *повышение ее крепости* в одном из элементов не вызывало изменения действий; оно не создавало в возбуждающем элементе более интенсивного тока (908) и не облегчало прохождения уже созданного тока через разлагающие элементы. Но при добавлении к очень слабой серной кислоте нескольких капель азотной кислоты можно было произвести и то и другое действие; и, как этого и можно было ожидать в подобном случае, когда возбуждающее и проводящее действия *непосредственно* зависят от самой кислоты, увеличение содержания последней [азотной кислоты] вызывало также увеличение ее силы.

1027. После этого я менял *материал промежуточной пластины*, чтобы установить связь его с явлениями как возбуждения, так и задержки тока, и для начала платину заменил амальгамированным цинком. Когда я взял для опыта одну гальваническую пару и одну промежуточную цинковую пластину (рис. 101),

ток, повидимому, получился такой же сильный, как и без промежуточной цинковой пластины. У P в элементе II и у поверхности второй цинковой пластины в элементе I выделялся водород, но ни у поверхности цинка в элементе II, ни у цинка в элементе I газ не появлялся.

1028. При включении двух промежуточных пластин амальгмированного цинка (рис. 102), вместо одной, все же возникал сильный ток, но уже наблюдалось противодействие. Когда я брал три промежуточные цинковые пластины (рис. 103), происходила дальнейшая задержка, хотя и проходил значительный ток электричества.

1029. Я считал задержку обусловленной тем, что амальгмированный цинк не действует на разбавленную кислоту в ре-

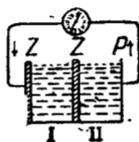


Рис. 101.

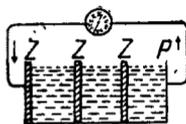


Рис. 102.

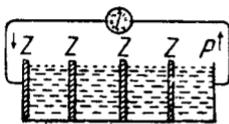


Рис. 103.

зультате слабого, хотя и общего, понижения химической силы, производимого ртутью на поверхности цинка; и я объяснял это бездействие необходимостью того, чтобы присущее каждой пластине стремление разлагать воду находило некоторую поддержку у электрического тока; поэтому я ожидал, что пластины из неамальгмированного металла, может быть, не будут нуждаться в такой поддержке и не будут представлять заметного препятствия прохождению тока. Это предположение полностью подтвердилось при опыте с двумя и тремя промежуточными неамальгмированными пластинами. Электрический ток проходил через них так же свободно, как если бы на его пути никаких подобных пластин не было. Они не представляли никакого препятствия, потому что они могли разлагать воду и без тока, последний же должен был только сообщать направление части тех сил, которые действовали бы независимо от того, проходит ток или нет.

1030. Затем были взяты медные промежуточные пластины. Сначала казалось, что они не создают препятствия; однако по истечении нескольких минут ток почти совершенно прекращался. Это действие, повидимому, обусловлено тем, что поверхности пластин принимают то особое состояние (1040), которое стремится произвести обратный ток; и действительно, когда я проверял одну или несколько пластин обратной стороной, что при избранной (*coignonne des tasses*) форме установки (см. рис. 91) легко осуществимо, то ток на несколько моментов с силой возобновлялся, а затем опять прекращался. Вследствие этого особого противодействующего эффекта, пластины из платины и меди, опущенные в разбавленную серную кислоту, как в гальваническом элементе, образовали, правда, такой элемент, но последний оказался способным действовать только в течение нескольких минут.

1031. Все эти задерживающие действия, обнаруживаемые при разложении у таких поверхностей, с которыми выделяющиеся вещества находятся в большем или меньшем химическом сродстве или к которым они вовсе не обнаруживают никакого притяжения, убедительно указывают во всех случаях на существование химических связей и на химическое происхождение тока, а также на то, что силы химического сродства в местах возбуждения и разложения находятся в равновесии. Таким образом эти действия присоединяются к ряду других доказательств в пользу тождественности этих двух сил, так как они указывают как бы на антагонизм между *химическими силами* в электродвижущей части и *химическими силами* в промежуточных частях; они показывают, что первые *создают* электрические действия, которым вторые *противодействуют*; они приводят эти два явления в непосредственную связь и доказывают, что каждое из них может определять другое, так что причина и следствие как бы меняются местами, показывая этим самым, что химическое и электрическое действие суть просто два разных проявления одного агента или силы (916 и т. д.).

1032. Совершенно ясно, что поскольку вода и другие электролиты при достаточно низком напряжении электричества

могут проводить его, не претерпевая разложения (986), то не вполне правильно будет утверждать, будто всякий раз как электричество проходит через электролит, оно производит определенное действие разложения. Однако количество электричества, которое, не вызывая разложения, может проходить через электролит в течение заданного промежутка времени, настолько мало, что не выдерживает сравнения с количеством, необходимым в случае весьма умеренного разложения, а в отношении электричества, интенсивность которого превосходит ту, которая требуется для электролиза, я до сих пор не встречал заметных отступлений от изложенного в предшествующих сериях настоящих исследований (783 и т. д.) закона *определенности электролитического действия*.

1033. Я не могу закончить данный раздел настоящего доклада, не указав на важные опыты г. Ог. де ля Рива о действиях промежуточных пластин.¹ Так как мне приходилось рассматривать эти пластины лишь постольку, поскольку они дают начало новым разложениям и только таким путем препятствуют прохождению электрического тока, то я был избавлен от необходимости учитывать описанные этим ученым своеобразные явления. В настоящий момент я тем более охотно уклоняюсь от этого, что одновременно я должен был бы войти в рассмотрение взглядов на этот предмет сэра Гемфри Дэви,² а также связанных с ними представлений Марианини³ и Риттера.⁴

ГЛАВА V

Общие замечания о гальванической батарее в действии

1034. Когда обыкновенная гальваническая батарея приводится в действие, то самое действие создает определенные эффекты, которые оказывают на батарею обратное действие и вызывают серьезное уменьшение ее силы. Это явление делает из бата-

¹ Annales de Chimie, XXVIII, стр. 190 и Mémoires de Genève.

² Philosophical Transactions, 1826, стр. 413.

³ Annales de Chimie, XXXIII, стр. 117, 119 и т. д.

⁴ Journal de Physique, LVII, стр. 349, 350.

реи крайне непостоянный прибор в смысле *количества* действия, которое она может производить. Частично эти явления уже известны и объяснены, однако в связи с тем, что значение их и некоторых других совпадающих результатов будет более очевидно, если сопоставить их с установленными и описанными выше опытами и законами, я счел полезным вкратце упомянуть о них в настоящем исследовании гальванического элемента.

1035. Когда батарея работает, то она вызывает образование в непосредственной близости с пластинами таких веществ, которые очень сильно ослабляют ее силу и даже стремятся создать обратный ток. Сэр Гемфри Дэви считает это достаточным для объяснения явлений во вторичных элементах Риттера, а также тех явлений, которые наблюдались г. Ог. де ля Ривом с промежуточными платиновыми пластинами.¹

1036. Я уже указывал, что этот результат (1003) может в некоторых случаях понизить силу тока до одной восьмой или одной десятой первоначального значения, и в моей практике были случаи, когда его вредное действие было очень велико. В одном

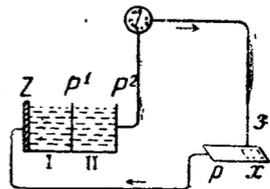


Рис. 104.

опыте, в котором были взяты одна гальваническая пара и одна промежуточная платиновая пластина, с разбавленной серной кислотой в элементах (рис. 104), соединительные провода были устроены так, что конец проволоки, помеченный цифрой 3, можно было по желанию положить либо в точку *x* на бумажку, смоченную раствором иодида калия, либо прямо на платиновую пластину. Если по истечении некоторого промежутка времени, в течение которого цепь не была замкнута, я клал проволоку 3 на бумажку, то получались указания на прохождение тока: происходило разложение, и гальванометр давал отклонение. Если я заставлял проволоку 3 коснуться *p*, то получался сравнительно сильный внезапный ток, действовавший на гальвано-

¹ Philosophical Transactions, 1826, стр. 413.

метр; но этот ток длился всего лишь момент; действие на гальванометр прекращалось, и когда я клал проволоку Z на бумажку в точке x , не обнаруживалось никаких следов разложения. Если я приподнимал проволоку Z и временно совершенно замыкал цепь, то прибор восстанавливал свою первоначальную силу, для чего, однако, требовалось от пяти до десяти минут, а затем, как и ранее, при замыкании контакта между Z и p снова проходил кратковременный ток, и все явления, очевидно, тут же прекращались.

1037. В конце концов мне удалось привести это явление в связь с состоянием той жидкой пленки, которая соприкасается с цинковой пластиной в элементе I. Кислота в этой пленке мгновенно нейтрализуется образующимся окислом; окисление цинка не может, конечно, совершаться с такой же легкостью, как ранее, и так как химическое действие таким образом оказывается прерванным, то одновременно с этим ослабевают и гальваническое действие. Перерыв был необходим для того, чтобы жидкость могла продифундировать и на ее место могла прийти свежая кислота. Ввиду серьезного влияния этого обстоятельства при опытах с одной парой пластин из различных металлов (такими опытами я одно время был занят) и чрезвычайной осторожности, которая требуется для его избежания, я не могу удержаться от сильного подозрения, что оно играет роль чаще и в более широких размерах, чем это знают экспериментаторы, а поэтому хочу обратить на него их внимание.

1038. Рассматривая, какое влияние этот источник неправильной работы гальванического прибора может оказать при точных опытах, необходимо помнить, что только ту чрезвычайно незначительную часть вещества, которая непосредственно соприкасается с способным окисляться металлом, следует учитывать при изменении природы последнего; а эту часть вещества не так-то легко вытеснить из занимаемого ею на поверхности металла положения (582, 605), особенно если поверхность этого металла шероховата и неправильна. Для иллюстрации явления я приведу замечательный опыт. Полированная платиновая пла-

стина (569) была погружена всего на один момент в горячую крепкую серную кислоту; затем она была опущена в дистиллированную воду, обмыта в ней, вынута и насухо вытерта; она была опущена во второй раз в дистиллированную воду, опять обмыта в ней и снова вытерта; затем она была погружена в третью порцию дистиллированной воды, в которой ее двигали взад и вперед около восьми секунд, после чего ее, не вытирая, перенесли в четвертую порцию дистиллированной воды; там она оставалась в течение пяти минут. После этого две последние порции воды были исследованы на серную кислоту; третья не дала заметных следов этого вещества, четвертая же дала вполне ясное указание на присутствие серной кислоты, не только в достаточном, но обильном количестве, учитывая условия ее введения. Этот результат в достаточной степени показывает, с каким трудом с металла удаляется вещество, которое находится с ним в соприкосновении, а так как в гальванической цепи касание между пластинкой и образовавшейся у поверхности ее жидкостью должно быть так тесно и совершенно, как это только возможно, то легко понять, как быстро и сильно эта жидкость должна приобретать свойства, отличные от всей массы жидкости в элементах, и как сильно должно отражаться это явление на уменьшении силы батареи.

1039. В обыкновенном гальваническом элементе влияние этого явления будет встречаться в самых разнообразных размерах. Концы батареи, состоявшей из двадцати пар пластин волластоновского образца, соединялись с вольта-электрометром (см. рис. 68 (711)), описанным в седьмой серии настоящих исследований; по истечении пяти минут отмечалось число пузырьков газа, выходявшего из конца трубки вследствие разложения воды. Не двигая пластины, кислоту между медью и цинком перемешивали опущенным в нее перышком. Пузырьки немедленно начинали выделяться быстрее, так что за такой же промежуток времени, что и раньше, их образовалось раза в два больше. В этом случае совершенно ясно, что перемешивание перышком является очень несовершенным способом вернуть кислоте в эле-

ментах у пластин ее первоначальное состояние, и, тем не менее, несмотря на такое несовершенство этого средства, оно более чем удвоило мощность батареи. *Начальный эффект* батареи, который, как известно, значительно превосходит ту степень действия, которую батарея может поддерживать, почти целиком зависит от благоприятного состояния соприкасающейся с пластинами кислоты.

1040. *Второй* причиной уменьшения силы гальванической батареи в результате ее собственного действия является то необыкновенное состояние поверхностей металлов (969), которое впервые, я полагаю, было описано Ритгером; ¹ он объясняет им свойства своих вторичных элементов; оно так хорошо было изучено Марианини, а также де ля Ривом. Если прибор (см. рис. 104) (1036) оставить в действии на один или два часа, причем проволока Z касается пластины p , обеспечив таким образом свободное прохождение тока, и если затем на десять — двенадцать минут разомкнуть контакт, то по возобновлении контакта пойдет только слабый ток, далеко не равный по силе тому, которого можно было бы ожидать. Далее, если P^1 и P^2 соединить металлическим проводом, то сильный кратковременный ток пройдет через кислоту от P^2 к P^1 , т. е. в направлении, обратном току, производимому действием цинка в таком приборе; после этого основной ток может проходить через всю систему, как в начале, но своим прохождением он восстанавливает первоначальное противодействующее состояние в пластинах P^2 и P^1 . Таково в общем фактическое положение вещей, описанное Ритгером, Марианини и де ля Ривом. Оно оказывает сильное вредное влияние на действие батареи, особенно если последняя состоит лишь из небольшого числа гальванических пар, и если ток его должен проходить через большое количество промежуточных пластин. Явление это меняется в зависимости от раствора, в который погружены промежуточные пластины, от напряжения тока, силы элемента, продолжительности действия и, особенно, от

¹ Journal de Physique, LVII, стр. 349.

случайных замыканий накоротко пластин при нечаянном касании их или изменении их положения во время опытов; за этим надо тщательно следить, предпринимая задачу определить источник, силу и изменения гальванического тока. В описанных выше опытах (1036 и т. д.) действие это предотвращалось тем, что соединение между пластинами P^1 и P^2 делалось раньше, чем наблюдался эффект, обусловленный состоянием раствора, соприкасающегося с цинковой пластиной, а также другими мерами предосторожности.

1041. Когда я пользовался прибором, подобным изображенному на рис. 99 (1017), с несколькими платиновыми пластинами и соединял его с батареей, которая могла пустить через них ток, то способность создавать обратный ток, которую они приобрели, была весьма значительна.

1042. В различных элементах одного сосуда или в различных составляющих батарею сосудах никогда не следует брать *слабые и отработанные жидкости* одновременно с *крепкими и свежими*; во всех элементах жидкость должна быть одинаковой; иначе пластины в более слабых элементах будут не облегчать прохождение электричества, производимого в более сильных элементах и передаваемого через них, а тормозить его. Разлагающая способность каждой цинковой пластины, поставленной в такие условия, должна получить известную поддержку, и только тогда между пластиной и жидкостью сможет пройти ток. Так что, если в батарее из пятидесяти пар пластин десять элементов содержат более слабую жидкость, чем остальные, то это равносильно тому, как если бы передаче тока от сорока пар производящих его пластин противодействовало десять разлагающих (1031). Отсюда значительная потеря силы, и в этом заключается причина того, что при удалении этих десяти пар пластин оставшиеся сорок пар оказались бы значительно сильнее пятидесяти, взятых вместе.

1043. Было изготовлено пять одинаковых батарей, по десять пар пластин каждая; четыре из них было залито хорошей однородной кислотой, а пятая — частью уже нейтрализованной кис-

лотой из бывшей в употреблении батареи. Будучи расположены в должном порядке и соединены с вольт-электрометром (711), все пятьдесят пар пластин выделяли в минуту 1,1 кубических дюйма кислорода и водорода; но когда я перемещал один из соединительных проводов так, что в цепи оставались только четыре хорошо заряженные батареи, от последних с тем же вольт-электрометром в то же самое время можно было получить 8,4 кубических дюйма газа. Таким образом, вследствие соединения с пятой батареей, терялось почти семь восьмых силы остальных четырех.

1044. После описанного опыта та же самая батарея из пятидесяти пар была соединена с вольт-электрометром (711) таким образом, что быстрым перемещением соединительных проводов через прибор последовательно в течение заданных промежутков времени мог быть пропущен ток от всей батареи или же от любой части ее. Вся батарея выделяла за полминуты 0,9 кубических дюйма кислорода и водорода; сорок пар пластин за то же время выделяло 4,6 кубических дюйма; после этого вся батарея за те же полминуты выделяла 1 кубический дюйм; десять слабо заряженных пар за данное время выделяли 0,4 кубических дюйма, и, наконец, вся батарея за это стандартное время выделяла 1,15 кубического дюйма газов. Последовательность наблюдений соответствовала указанной; результаты в достаточной мере показывают вредное действие, какое производится смешением сильных и слабых жидкостей в одной и той же батарее.¹

1045. Равным образом следует тщательно избегать соединения *сильных и слабых* пар пластин. Было обнаружено, что если пару, состоящую из медной и платиновой пластин, расположить одинаково с парой цинковой и платиновой пластин в разбавленной серной кислоте, то она приостанавливает действие последней или даже двух таких пар почти так же полно, как промежуточ-

¹ Постепенное усиление действия всех пятидесяти пар пластин было обусловлено повышением температуры в слабо заряженных батареях при прохождении тока; в результате чего увеличивалась возбуждающая энергия жидкости внутри них;

ная платиновая пластина (1011), или как если бы вместо меди там была платина. Фактически она играет роль промежуточной разлагающей пластины, и поэтому вся пара не облегчает, а тормозит прохождение тока.

1046. Чрезвычайно вредное действие получается, если случайно или вообще почему-нибудь перевернуть пластины другой стороной. Перевернутые пластины могут не только создать противодействие току, но еще и тормозящий эффект, как безразличные [в химическом отношении] пластины, так как прежде чем сможет пройти ток, на их поверхности должно произойти разложение в соответствии с его направлением. Поэтому они прежде всего противодействуют току, как это делали бы промежуточные пластины (1011—1018), и к этому они добавляют силу противодействия, как противоположные гальванические пластины. Я нашел, что если в батарее из четырех пар цинковых и платиновых пластин в разбавленной серной кислоте одну пару перевернуть другой стороной, то она почти полностью нейтрализует действие всей батареи.

1047. Имеется много других причин обратного действия торможения и неправильностей в действии гальванической батареи. Сюда относится часто наблюдаемое осаждение в элементах на цинке меди; на вредное действие его указывалось выше (1006). Однако представляемый этими причинами интерес, думается, недостаточно велик, чтобы оправдать дальнейшее удлинение настоящего доклада; доклад этот должен, по мысли автора, являться исследованием теории гальванического элемента, а не подробным рассмотрением практического применения последнего.¹

Примечание. Многие из взглядов и опытов данной серии моих экспериментальных исследований являются одновременно поправками к теории электрохимического разложения, данной в пятой и седьмой сериях настоящих исследований ее дальнейшим развитием. В некоторые

¹ По поводу дальнейших практических выводов, связанных с этими вопросами учения о гальванической батарее, см. десятую серию, раздел 17, пп. 1136—1160; Дек. 1838 г.

выражения я в настоящее время ввсс бы изменения; это те, которые относятся к независимости выделяющихся элементов по отношению к полюсам, или элекстродам, и отнесение их выделения исключительно к внутренним силам (524, 537, 661). Данный доклад полностью отражает мои нынешние взгляды; для ознакомления с ними я могу отослать к пп. 891, 904, 910, 917, 918, 947, 963, 1007, 1031 и т. д. Я надеюсь, что как поправка это примечание будет признано для настоящего момента достаточным; я хотел бы отложить пересмотр всей теории электрохимического разложения до того времени, когда у меня составитс более ясное представление о том, каким способом рассматриваемая сила может то оказываться связанной с частицами, которым сообщает их химические притяжения, то проявляться как свободное электричество (493, 957).

*Королевский институт
31 марта 1834 г.*

М. Ф.

ДЕВЯТАЯ СЕРИЯ

Раздел 15. Об индуктивном влиянии электрического тока на самого себя и об индуктивном действии электрических токов вообще.

Представлено 18 декабря 1834 г.

Доложено 29 января 1835 г.

РАЗДЕЛ 15

Об индуктивном влиянии электрического тока на самого себя и об индуктивном действии электрических токов вообще

1048. Излагаемые далее исследования относятся к весьма замечательному индуктивному действию электрических токов или различных частей одного и того же тока (74) и указывают на близкую связь между таким индуктивным действием и непосредственным прохождением электричества через проводящие тела, и даже прохождением электричества, проявляющимся в виде искры.

1049. Вопрос этот возник в связи с фактом, сообщенным мне г. Дженкином (Jenkin); факт этот заключается в следующем. Если для соединения между двумя пластинами гальванической батареи, состоящей из одной пары металлов, служит обыкновенная проволока небольшой длины, то никакими ухищрениями экспериментатору не удастся получить от этой проволоки электрического удара, но если взять для этой цели обмотку электромагнита, то всякий раз при размыкании соединения с гальванической батареей ощущается удар; необходимо только в каждой руке держать по одному концу проволоки.

1050. Одновременно наблюдается другое, давно известное ученым явление, а именно: в месте разъединения проскакивает яркая электрическая искра.

1051. Краткий отчет об этих и некоторых других результатах такого же рода, которые я наблюдал при употреблении длинных проводов, был опубликован в *Philosophical Magazine* за 1834 г.,¹ и я дополнил их некоторыми соображениями об их природе. Дальнейшие исследования заставили меня признать неправильность моих первоначальных представлений и, в конце концов, привели меня к отождествлению этих явлений с явлениями индукции, о которых я имел честь докладывать в первой серии настоящих исследований (1—59).² Эти результаты дают дальнейшее расширение нашим взглядам на электрические токи и выясняют некоторые особенности, а потому я, несмотря на указанную тождественность, счел их достойными внимания Королевского общества.

1052. *Источник*, которым я пользовался, состоял из цинкового цилиндра, вставленного между двумя половинами двойного медного цилиндра и предохраненного от металлического контакта с последним обычным путем при помощи пробок. Цинковый цилиндр имел восемь дюймов в высоту и четыре дюйма в диаметре. Как он, так и медный цилиндр были снабжены жесткими проволоками, оканчивающимися чашечками с ртутью; именно в этих чашечках производилось замыкание или размыкание контактов с проводами, спиралями или электромагнитами, которые входили в цепь. На всем протяжении остальной части этого доклада (1079) я буду обозначать эти чашечки через *G* и *E*.

1053. Было изготовлено несколько *спиралей*, из которых некоторые необходимо описать. На картонную трубку было намотано четыре медных провода, толщиной в одну двадцать четвертую дюйма; каждый из них образовал спираль одинако-

¹ Vol. V, 349, 444.

² *Philosophical Transactions*, 1832, стр. 126.

вого направления от одного конца к другому; отдельные витки проводов разделялись друг от друга шнуром, а спирали, наматанные поверх их, предохранялись от соприкосновения с ними проложенным между ними коленкором. Длины проводов, образующих спирали, были равны 48, 49,5, 48 и 45 футам. Первый и третий провода были соединены вместе таким образом, что образовали одну общую спираль длиной 96 футов; второй и четвертый провода были соединены подобным же образом; полученная таким образом вторая спираль тесно переплеталась с первой и имела в длину 94,5 фута. Эти спирали будем различать цифрами I и II. Они были тщательно исследованы с помощью сильного тока электричества и гальванометра; было установлено, что никаких соединений между этими спиралями не было.

1054. На подобной же картонной трубке была изготовлена другая спираль; для нее было взято два куска того же медного провода, каждый длиной по сорок шесть футов. Эти провода были соединены в одну общую спираль в девяносто два фута длиной; она была, таким образом, по размерам почти равна каждой из предыдущих спиралей, но не была с ними в тесной индуктивной связи. Эту спираль мы будем обозначать цифрой III.

1055. Четвертая спираль была изготовлена из очень толстого медного провода диаметром в одну пятую дюйма; длина провода была равна семидесяти девяти футам, не считая прямых конечных участков.

1056. *Электромагнит*, которым я главным образом пользовался, представлял собой цилиндрический стержень из мягкого железа длиной в двадцать пять дюймов и диаметром в один и три четверти дюйма; он был согнут в виде кольца так, что концы его почти соприкасались, и окружен тремя катушками из толстого медного провода, подобные концы которых были накрепко соединены друг с другом; каждый из этих концов был припаян к медному стержню, который служил проводящим продолжением провода. Таким образом всякий пропущенный через стержни ток разветвлялся в окружающих кольцо спиралях на

три части, которые однако все имели одно и то же направление. Поэтому указанные три провода можно рассматривать как один, толщина которого в три раза больше, чем у провода, который был намотан в действительности.

1057. Можно было по желанию вводить в любую из описанных (1053 и т. д.) спиралью стержень из мягкого железа и таким образом получать другие электромагниты.

1058. Я пользовался грубым по устройству *гальванометром*; у него была всего одна магнитная стрелка; его показания были не особенно точны.

1059. Явления, которые нам предстоит рассмотреть, *зависят от того проводника*, который образует часть цепи, соединяющей цинковую и медную пластины источника; я буду рассматривать такие проводники четырех различных видов: спираль электромагнита (1056), обыкновенную спираль (1053 и т. д.), *длинный* растянутый провод, расположенный так, что отдельные части его оказывают друг на друга только слабое влияние или совсем его не обнаруживают, и наконец, *короткий* провод. Во всех случаях провод был медный.

1060. Лучше всего эти особые явления обнаруживаются с *электромагнитом* (1056). Когда я вводил его в цепь источника, то при *замыкании* контакта искры не было, но при *размыкании* контакта появлялась очень большая и яркая искра; ртуть сгорала в большом количестве. То же относится к удару: если руки были смочены в соленой воде и между ними и проводами существовал хороший контакт, то при *замыкании* контакта у источника удара не ощущалось, при *размыкании* же контакта— весьма сильный удар.

1061. Когда соединительным проводом служили *спирали* I или II (1053 и т. д.), при размыкании контакта также получалась сильная искра, при замыкании же никакой [заметной] искры не было. При попытках получить от этих спиралей удар мне сначала не удавалось добиться успеха. Когда я соединял подобные концы спиралей I и II так, что две спирали уподобились одной, с проводом двойной толщины, я мог получить

только-только заметное ощущение. Со спиралью из толстого провода (1055) получался отчетливый удар. Затем я поместил язык между двумя серебряными пластинками, а их соединил посредством проволок с теми местами цепи, которых перед тем касались руки (1064); тогда при *размыкании* контакта ощущался сильный удар, а при *замыкании* контакта — никакого.

1062. Таким образом способность производить эти явления присуща простой спирали так же, как и электромагниту, хотя далеко не в такой сильной степени.

1063. При внесении в спираль стержня из мягкого железа она становилась электромагнитом (1057), и ее сила мгновенно и сильно возрастала. Внесение в спираль медного стержня не давало никакого изменения, и действие было таким же, как при опытах с одной спиралью. Когда я две спирали I и II превращал в одну спираль с проводом удвоенной длины они производили большее действие, чем одна спираль I или II.

1064. При переходе от спирали к обычному *длинному проводу* были получены следующие явления. Медный провод, диаметром в 0,18 дюйма и длиной в 132 фута, был протянут на полу лаборатории и служил соединительным проводом (1059); при замыкании контакта он не давал заметной искры, при размыкании искра была яркая, хотя и не такая яркая, как при спирали (1061). При попытках получить удар в момент замыкания контакта мне не удалось заставить электричество пройти через руки; но когда я взял две серебряные пластинки, прикрепленные небольшими проволочками к концам главного провода, и ввел между этими пластинками язык, я мог получить сильные удары на язык и десны; я легко мог вызывать сокращения у камбалы, угря и лягушки. Ни одно из этих действий не удавалось получить непосредственно от источника, т. е. когда язык, лягушка или рыба были одинаково, а следовательно сравнимым образом, включены в цепь между цинковой и медной пластинками, которые на остальном протяжении были разделены друг от друга кислотой, служившей для возбуждения пары, или же воздухом. Яркая искра и удар, полу-

чаемые только при размыкании контакта, суть, таким образом, явления того же порядка, что и явления, получаемые в более высокой степени с помощью спирали и — в еще более высокой степени — с помощью электромагнита.

1065. Для сравнения растянутого провода со спиралью я брал в качестве проводника попеременно спираль I, содержащую девяносто шесть футов провода, и протянутые на полу лаборатории девяносто шесть футов провода того же диаметра; в момент разъединения первая давала значительно более яркую искру, чем второй. Далее я свернул двадцать восемь футов медного провода в виде спирали; она дала в момент отключения источника сильную искру; а когда я затем быстро развернул его и сделал опыт снова, провод дал значительно более слабую искру, чем раньше, хотя ничего не изменилось, за исключением придания проводу спиральной формы.

1066. Так как превосходство спирали над проводом имеет большое значение для теории явления, то я приложил особенные старания к тому, чтобы установить этот факт с уверенностью. Медный провод в шестьдесят семь футов длиной был изогнут в середине таким образом, что получился двойной конец, который можно было присоединить к источнику; первая половина этого провода была свернута в спираль, а другая оставалась растянутой. Когда эти половины попеременно включались в качестве соединительного провода, то свернутая в спираль половина давала гораздо более сильную искру. Она давала даже более сильную искру, чем в том случае, когда она и растянутый провод служили совместно двойным проводником.

1067. При коротком проводе все эти явления исчезали. Когда провод имел в длину всего два или три дюйма, то искру при размыкании соединения едва можно было заметить. Когда провод был длиной в десять или двенадцать дюймов и умеренно толстый, то небольшую искру получить было уже легче. С возрастанием длины искра становится соответственно ярче, пока при чрезмерной длине сопротивление металла как проводника не начинает искажать этот основной результат.

1068. Влияние увеличения длины провода было ясно показано следующим образом: 114 футов медного провода, в одну восемнадцатую дюйма диаметром, было протянуто на полу; они служили соединительным проводом; провод оставался холодным, но при размыкании контакта давал яркую искру. Я перекрутил его таким образом, что оба его конца находились в контакте друг с другом вблизи от концов; он снова был взят в качестве соединительного провода, причем теперь в цепь было включено всего двенадцать дюймов провода; вследствие того, что через провод проходило большое количество электричества, он сильно нагревался, и, тем не менее, искра при размыкании контакта была едва видима. Опыт был повторен с проводом диаметром в одну девятую дюйма и длиной в тридцать шесть футов, и с теми же результатами.

1069. Что эти явления, а равно и это действие тождественны при всех видах опыта, очевидно из того, каким способом можно их постепенно усилить, начиная от действий, производимых самым коротким проводом и кончая действиями сильнейшего электромагнита; такая возможность — изучать то, что произойдет при употреблении самого мощного прибора, а потом пытаться получать такие же результаты и делать из них выводы с помощью более слабых приборов — представляет большие выгоды при установлении истинных причин явлений.

1070. Это действие, очевидно, зависит от провода, который служит проводником, ибо оно меняется с изменением длины или формы последнего. Можно считать, что и самый короткий провод проявляет полностью те действия искры или удара, которые может произвести своей силой источник; все же добавочные силы, которые возбуждаются в описанных устройствах, обусловлены некоторым длительным или кратковременным действием тока в самом проводе. Что оно представляет собой действие *кратковременное*, происходящее только в момент размыкания контакта, будет полностью доказано дальше: (1089, 1100).

1071. С момента замыкания контакта до момента, предшествующего разъединению, т. е. в течение всего промежутка времени, пока *длится* ток, не происходит никакого изменения количества или напряжения тока, если не считать того изменения, которое связано с увеличением сопротивления, представляемого прохождению электричества длинным проводом по сравнению с коротким. Для количественной проверки этого положения в металлическую цепь, служащую для соединения пластин небольшого источника, были одновременно включены спираль I (1053) и гальванометр (1058); отклонение последнего затем и наблюдалось; после этого внутрь спирали вводился сердечник из мягкого железа, и как только мгновенное действие прекращалось и стрелка устанавливалась, ее показание вновь отсчитывалось; при этом оказалось, что она стоит на том же самом делении, что и раньше. Таким образом при непрерывном токе через проволоку проходило одно и то же количество электричества как в присутствии мягкого железа, так и без него, несмотря на то, что те особые явления, которые возникают в момент размыкания, при таком изменении условий сильно отличались по своей силе.

1072. В условиях, благоприятствующих рассматриваемым результатам, присущее постоянному току качество *напряжения* не претерпевало изменений, которыми можно было бы объяснить явления; это было установлено следующим образом. Ток, возбуждаемый источником, пропускаться через короткие провода, и для определения его напряжения его электролизующей силе подвергались различные вещества (912, 966 и т. д.); затем его пропускали через обмотку сильного электромагнита (1056) и снова, таким же способом, определяли его напряжение; при этом оказалось, что оно не изменялось. С другой стороны, постоянство *количества* проходившего в вышеупомянутом опыте электричества (1071) является лишним доказательством того, что напряжение измениться не могло, ибо если бы вследствие введения мягкого железа оно возросло, то имелись бы все основания полагать, что количество

электричества, проходящее за данный промежуток времени, также возросло бы.

1073. На самом деле при многих видоизменениях опыта установившийся ток *теряет* в силе, а явления при размыкании контакта при этом *усиливаются*. Это достаточно выясняется из сравнения опытов с длинными и короткими проводами (1068) и еще более резко подтверждается следующими видоизменениями опыта. К одному из концов длинного соединительного проводника припаем один или два дюйма тонкой платиновой проволоки (примерно в одну сотую дюйма диаметром) и такой же кусок той же платиновой проволоки — к одному из концов короткого соединительного проводника; затем для сравнения действий этих двух соединений будем замыкать и размыкать контакт между платиновыми концами и ртутью в чашечке *G* или *E* (1079). При коротком проводе, вследствие большого количества электричества, *платина будет раскаляться постоянным током*, но искра при размыкании контакта будет едва видна; при более длинном соединительном проводе, который своим сопротивлением ослабляет ток, платина при прохождении тока останется холодной, но в момент его прекращения даст яркую искру; таким образом получается странный результат: ослабление искры и удара при сильном токе и усиление этих действий при слабом. Итак, хотя искра и удар в момент замыкания и являются следствием значительного напряжения и количества тока в *этот момент*, но они не могут служить непосредственным мерилom или указателем напряжения или количества проходившего перед этим постоянного тока, которому они в конечном счете *обязаны своим существованием*.

1074. Когда пользуются относительной яркостью искры для оценки интенсивности этих явлений, весьма существенно помнить некоторые обстоятельства, связанные с ее происхождением и внешним видом (958). Под обыкновенной искрой мы понимаем яркое проявление электричества, внезапно проскакиваю-

щего через воздушный промежуток или через другое плохое проводящее вещество. Природа гальванической искры иногда ничем не отличается, но эта искра большей частью обусловлена раскаливанием или даже воспламенением весьма малого количества хорошего проводника; так обстоит дело особенно в том случае, когда источник состоит всего из одной пары или небольшого числа пар пластин. Это явление можно очень хорошо наблюдать, если одна или обе предназначенные для контакта металлические поверхности являются твердыми и заостренными. В тот момент, когда они приходят в соприкосновение, ток проходит; он нагревает, раскаляет и даже воспламеняет соприкасающиеся острия, и по внешнему виду можно думать, будто при замыкании контакта проскочила искра, на самом же деле контакт был замкнут раньше, и самое явление представляет собой лишь случай накаливания током, совершенно аналогичный раскаливанию тонкой платиновой проволоки, соединяющей концы гальванической батареи.

1075. Когда одна или обе взятые поверхности состоят из ртути, яркость искры значительно повышается. Однако, поскольку это явление обусловлено действием на металл, а, может быть, и сгоранием его, постольку такие искры следует сравнивать с другими искрами только в том случае, если они получаются также от ртутных поверхностей, и нельзя сравнивать их с искрами, которые получены между поверхностями, скажем, платины или золота, ибо в этом случае искра оказывается значительно менее яркой с виду, даже при одинаковом количестве проходящего электричества. Вполне возможно, что обычные условия сгорания могут повлиять даже на продолжительность вспышки, и что искры, получаемые между ртутью, медью или другими окисляющимися веществами, будут существовать гораздо дольше, чем искры между платиной или золотом.

1076. Если конец короткого зачищенного медного провода прикрепить к одной из пластин источника и осторожно опустить на поверхность ртути, соединенной с другой пластиной, то можно получить почти непрерывную искру. Я приписываю

это последовательности действий следующего рода: сначала контакт, затем раскаливание соприкасающихся точек; отступление ртути в силу механического влияния развившегося в месте контакта тепла и электромагнитного состояния этих частей в данный момент;¹ разрыв контакта и получение зависящего от этого своеобразного яркого явления; возобновление контакта благодаря обратному приближению поверхности колеблющейся ртути, затем повторение того же ряда явлений, и притом с такой быстротой, которая создает впечатление непрерывного разряда. Если вместо короткого соединительного провода взять длинный или же электромагнит, то можно получить подобную картину, постукивая по сосуду, содержащему ртуть, и приводя последнюю в колебания; однако теперь искры обычно не следуют друг за другом столь же быстро и не создают впечатления непрерывной искры, вследствие того, что при длинном проводе или электромагните как для полного развития тока (1101, 1106), так и для его *полного прекращения* требуется время.

1077. Возвратимся к интересующим нас явлениям. Первое, что приходит в голову, — то, что электричеству, циркулирующему в проводе, присуще нечто подобное *количеству движения или инерции*, и что именно вследствие этого длинный провод производит в момент прекращения тока такие действия, каких короткий провод произвести не может. Однако такое объяснение тут же устраняется фактом, что провод одной и той же длины создает действия различной силы в зависимости от того, просто ли он растянут, свернут в спираль или же составляет обмотку электромагнита (1069). Приводимые далее опыты (1089) покажут еще более убедительно, что представление о количестве движения здесь неприменимо.

1078. Яркая искра у источника и удар через руки, повидимому, обусловлены одним и тем же проходящим в длинном про-

¹ Quarterly Journal of Science, XII, стр. 420.

воде током; последний при этом делился на части, так как ему представляются два пути: через тело и через источник; и в самом деле, не подлежит сомнению, что искра в месте разъединения [цепи] с источником появлялась не вследствие прямого действия последнего, а благодаря силе, немедленно проявляющейся в соединительном проводе (1070). Отсюда следовало, что, заменив человеческое тело более совершенным проводником, можно было бы заставить весь экстракт пройти через этот участок; таким образом его можно было бы отделить от того тока, который источник производит своим непосредственным действием, и изучать его *направление* без помехи со стороны первоначального и производящего действие тока. Это предположение подтвердилось, так как при соединении концов главного провода поперечным проводом в два или три фута длиной, если последний приложить как раз в том месте, где руки ощущали удар, весь экстракт проходил по новому пути, и в этом случае при разъединении у контактов источника искра получалась не лучше такой,

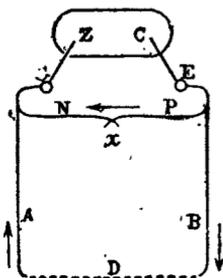


Рис. 105.

какую можно произвести с помощью короткого провода.

1079. Отделенный таким образом ток был исследован с помощью гальванометра и прибора для разложения, которые включались в цепь этого провода. Об этом токе я буду всегда говорить как о токе в поперечном проводе или поперечных проводах, чтобы не могло возникнуть никакого недоразумения в отношении его местонахождения или происхождения. На прилагаемом рисунке *Z* и *C* представляют собой цинковую и медную пластины источника; *G* и *E* — чашечки со ртутью, в которых происходит замыкание или размыкание контакта (1052); *A* и *B* — концы провода *D*, т. е. длинного провода, спирали или же электромагнита, вводимых в цепь; *N* и *P* суть поперечные провода, которые можно соединять друг с другом в точке *x* или прямо, или через гальванометр (1058), или через электролитический прибор (312, 316).

Получение удара, производимого током в поперечном проводе, независимо от того, что собой представляет провод D : длинный растянутый провод, спираль или же электромагнит, было описано выше (1064, 1061, 1060).

1080. Искру от тока в поперечном проводе можно было получить в точке x следующим образом: D представлял собой электромагнит, металлические концы в точке x крепко прижимались друг к другу или же их слегка терли друг о друга, а контакт в G или E в это время размыкался. Когда соединение в точке x было безупречно, в G или E появлялась лишь слабая искра, или она вообще не появлялась. Когда условия сближения [проводов] в точке x благоприятствовали, требуемому результату, то в этом месте в момент размыкания проскакивала яркая искра; наоборот, у G и E искры не возникало; эта искра представляла собой яркое прохождение экстратока через поперечные провода. Когда в точке x не было контакта и ток в этом месте не проходил, тогда искра появлялась у G или у E , т. е. экстраток прокладывал себе дорогу через самый источник тока. Такие же результаты получались при замене электромагнита на участке D спиралью или же растянутым проводом.

1081. Когда я вводил в x тонкую платиновую проволочку и пользовался на участке D электромагнитом, то до тех пор, пока сохранялся контакт, видимых действий не было; но при размыкании контакта в G или E проволочка мгновенно раскалялась и плавилась. Можно было в x подобрать более длинную или более толстую проволоку таким образом, чтобы при каждом размыкании контакта в G или E происходило раскаливание, но без плавления.

1082. Получить такой же эффект со спиральями или проводами довольно трудно, и по очень простым причинам: при спиральях I, II или III задерживающее действие по отношению к току вследствие большой длины провода было таково, что можно было поддерживать в раскаленном состоянии у поперечных проводов, при сохранении контакта, целый дюйм платиновой проволоки, толщиной в одну пятидесятую дюйма,

что производилось той частью электричества, которая через нее проходила. Поэтому особые действия, которые сопровождали замыкание или размыкание контакта, невозможно было отличить от этого постоянного действия. При спирали из толстой проволоки (1055) результаты получались такие же.

1083. Исходя из известного факта, что электрические токи большого количества, но низкого напряжения, хотя и способны раскалить толстые проволоки, но не могут производить этого действия на тонких проволоках, я включал в x очень тонкую платиновую проволочку, уменьшая ее диаметр до тех пор, пока при размыкании контакта в G или E там не появлялась искра. Можно было включить у x четверть дюйма такой проволоки, и при этом при *сохранении* контакта в G или E , она не раскалялась; когда же контакт в одной из этих точек размыкался, эта проволочка раскалялась докрасна; этим подтверждалось, что в этот момент получался индуцированный ток.

1084. Затем я получал при помощи тока в поперечном проводе *химическое разложение*, причем на участке D был включен электромагнит, а в x — прибор для разложения, с раствором иодида калия в бумаге (1079). Проводимость соединительной системы ABD была достаточна для того, чтобы пропустить весь первичный ток, и поэтому при *сохранении* контакта в G и E разложение в x не происходило; когда же контакт размыкался, в x немедленно возникало разложение. Иод выделялся у провода N , а не у провода P ; это указывало, что по размыкании контакта ток через поперечный провод проходил *в направлении, противоположном* указанному стрелкой, т. е. тому, который шел бы через него от источника.

1085. В этом опыте в месте размыкания появляется яркая искра; это доказывает, что через прибор в x вследствие его малой проводимости проходит лишь небольшая часть экстра-тока.

1086. Получение химических действий с простыми спиралями и проводами оказалось затруднительным из-за малой индуктивной способности этих систем, а также вследствие того,

что при очень сильном источнике в x проходит сильный постоянный ток (1082).

1087. Но наиболее поучительные результаты получались тогда, когда в x вводился *гальванометр*. Если пользоваться на участке D электромагнитом и сохранять контакт, отклонение прибора указывает на существование тока, проходящего от P к N в направлении стрелки; часть возбужденного источником электричества проходила через поперечный провод, но через часть установки, обозначенную ABD , как то указано стрелками, проходила другая, значительно большая часть. Затем магнитная стрелка с помощью булавок, воткнутых с противоположных сторон двух ее концов, была возвращена в положение равновесия, которое она занимала при отсутствии тока; после этого при *размыкании* контакта в G или E , она сильно отклонялась в противоположном направлении, указывая этим, в согласии с химическими действиями (1084), что экстраток в поперечном проводе направлен *обратно* току, указанному стрелкой, т. е. *обратно* току, производимому прямым действием источника.¹

1088. При одной только *спиральи* (1061) указанные явления наблюдались с трудом вследствие более слабой индуктивной силы такого устройства, противоположного действия индукции в проводе самого гальванометра, механических условий и напряжения стрелки, вызываемого тем, что она закреплялась (1087), а ток вследствие сохранения контакта в это время проходил вокруг нее; а также в силу других причин. При *растянутом проводе* (1064) все эти обстоятельства оказывали еще большее влияние и, следовательно, давали еще меньше шансов на успех.

1089. Эти опыты устанавливают существенное различие между первичным или возбуждающим током и экстратокком в отношении количества интенсивности и даже направления;

¹ Было экспериментально установлено, что если сильный ток пропускаться только через гальванометр, а стрелка, как и ранее, удерживалась в положении равновесия, то в момент прекращения тока не происходило отклонения стрелки в противоположном направлении.

они привели меня к заключению, что экстраток тождествен с описанным в первой серии настоящих исследований (6, 26, 74) индуцированным током; вскоре мне удалось подтвердить это мнение и одновременно получить не только частичное (1078), но и полное отделение одного тока от другого.

1090. Двойная спираль (1053) была расположена таким образом, что образовала соединительный провод между пластинами источника, причем по спирали II ток не проходил, и концы ее соединены не были. При таких условиях спираль I действовала очень хорошо и в момент размыкания давала в месте разъединения хорошую искру. Затем противоположные концы спирали II были соединены друг с другом так, что образовали замкнутый провод, а спираль I была оставлена без изменений; но теперь от последней *не* удавалось получить искры в месте разъединения, разве что едва заметную. Затем концы спирали II были поднесены так близко друг к другу, что каждый пробегающий по этой спирали ток должен был бы проявиться в виде искры. Таким способом при размыкании соединения спирали I с источником получалась искра от спирали II, а у размыкаемого конца самой спирали I она, наоборот, не появлялась.

1091. Когда я вводил в цепь, образуемую спиралью II, гальванометр или прибор для разложения, мне легко удавалось получать отклонения стрелки и разложения, вызываемые индуцированным током, который получался вследствие размыкания контакта спирали I, и даже током, вызываемым замыканием контакта между этой спиралью и источником; в этих случаях результаты указывали, что два полученные таким путем индуцированные токи имели противоположные направления (26).

1092. Все эти явления, за исключением явления разложения, были воспроизведены с помощью двух растянутых длинных проводов, которые не имели формы спирали, но были помещены близко друг к другу; таким образом было доказано, что *экстраток* можно было переместить из провода, несущего перво-

начальный ток, в соседний; в то же время было установлено тождество экстратока как в отношении направления, так и во всех других отношениях с токами, производимыми индукцией (1089). Таким образом относительно яркой искры и удара при размыкании можно сказать следующее: если установить ток в проводе и параллельно ему поместить другой провод, образующий замкнутую цепь, то в момент прекращения тока в первом он индуцирует во втором ток *того же самого* направления, причем в первом проводе в этом случае появляется лишь слабая искра; если же второй провод отсутствует, то размыкание первого провода индуцирует в нем самом ток того же направления, дающий сильную искру. Сильная искра в уединенном длинном проводе или спирали в момент размыкания является таким образом эквивалентом тока, который был бы произведен в соседнем проводе, если бы для такого вторичного тока была представлена возможность.

1093. Если рассматривать эти явления, как результат индукции электрических токов, то многие из законов действия в предыдущих опытах становятся гораздо более очевидными и точными. Так, например, делается понятным различное действие коротких и длинных проводов, спиралей и электромагнитов (1069). Если наблюдать индуктивное действие провода длиной в один фут на расположенный рядом провод длиной также в один фут, то оно оказывается очень слабым; но если тот же самый ток пропустить через провод длиной в пятьдесят футов, то он будет индуцировать в соседнем пятидесятифутовом проводе в момент замыкания или размыкания контакта значительно более сильный ток, так как каждый лишний фут провода приносит нечто в суммарное действие; по аналогии мы заключаем, что такое же явление должно иметь место и тогда, когда соединительный проводник служит одновременно проводником, в котором образуется индуцированный ток (74); в этом и заключается причина того, что длинный провод дает при размыкании контакта более яркую искру, чем короткий (1168), хотя через него и течет гораздо меньше электричества.

1094. Если длинный провод свить в спираль, то он при разомкнутом контакте будет давать еще большие искры и удары, ибо благодаря индуктивному действию витков друг на друга каждый виток будет помогать соседнему, и сам, в свою очередь, получит такую помощь; суммарное действие значительно возрастет.

1095. Когда мы пользуемся электромагнитом, действие усиливается еще больше вследствие того, что железо, намагниченное силой непрерывного тока, в момент его прекращения будет терять свой магнетизм и при этом будет стремиться произвести в окружающем его проводе электрический ток (37, 38) того же направления, что и ток, который должен произвести прекращение тока в самой спирали.

1096. Пользуясь изложенными выше законами индукции электрических токов, можно было бы придумать разнообразные новые условия опытов, и их результаты могли бы служить для проверки правильности высказанного только что взгляда. Если сложить вдвое длинный провод так, чтобы токи в двух его половинах давали противоположные действия, то в момент размыкания он не должен был бы давать заметной искры; и так оно в действительности и было, ибо покрытый шелком провод, длиной в сорок футов, будучи сложен вдвое и плотно увязан в средней части, до расстояния в четыре дюйма от концов, давал в таком виде едва заметную искру; но когда он был распрямлен и его части были раздвинуты, он давал сильную искру. Две спирали I и II были соединены своими подобными концами, а другими концами они соединялись с пластинами источника, так что образовалась одна длинная спираль, у которой одна половина была направлена против другой; и, несмотря на то, что спираль содержала около двухсот футов провода, она при таких условиях давала едва ощутимую искру даже в том случае, когда внутри нее находился сердечник из мягкого железа. Когда она была превращена в спираль одного направления такой же длины, она давала очень яркую искру.

1097. Подобные же доказательства можно получить из взаимного индуктивного действия двух отдельных токов (1110);

с точки зрения общих принципов существенно установить согласие в действии двух таких токов. Так, два одинаково направленные тока при одновременном их прекращении должны своим взаимным влиянием помогать друг другу; а если они проходят в противоположных направлениях, то должны при таких же условиях противодействовать друг другу. Сначала я пытался получить оба тока от двух различных источников и, пропуская их через спирали I и II, пробовал производить одновременное замыкание механическим путем. Однако это мне не удавалось: одна цепь всегда замыкалась раньше другой и давала при таких условиях слабую искру или не давала ее вовсе, так как индуктивная сила ее расходовалась на создание тока в цепи, оставшейся замкнутой (1090); тот ток, который прекращался позже, всегда давал яркую искру. Если бы когда-нибудь потребовалось установить, производятся ли два замыкания точно в один и тот же момент, то такие искры представили бы для этого способ, обладающий высокой¹ степенью совершенства.

1098. Мне удалось подтвердить эти положения другими средствами. В качестве концов, с помощью которых можно было замыкать и размыкать контакт с источником, было взято два коротких толстых провода. Состоящая из I и II (1053) сложная спираль была установлена таким образом, что концы двух спиралей можно было соединять с двумя соединительными проводами, и чтобы ток, проходящий через толстые провода, подразделялся в двух спиральных на две равные части; эти два тока, в зависимости от способа соединения, по желанию пропускались либо в одинаковом, либо в противоположном направлениях. Таким путем можно было получить два тока, и оба можно было прекращать одновременно, потому что разъединение можно было производить в G или E , удаляя один провод. Когда спирали включались в противоположных направлениях, то в месте разъ-

¹ В издании 1839 г. имеется меняющая смысл фразы опечатка *infinitesimal* вместо *infinite*, как напечатано в *Philosophical Transactions* (прим. пер.).

единения получалась едва заметная искра; когда же они соединялись согласно, искра получалась очень яркая.

1099. В дальнейшем постоянно работала спираль I, причем иногда ее, как и ранее, соединяли со спиралью II в согласном направлении, а иногда — со спиралью III, находившейся на небольшом от нее расстоянии. Соединение спиралей I и II представляло собой два тока, способных в силу своей близости действовать друг на друга индукцией, и она давала более яркую искру, чем система I и III, где два тока не могли проявить своего взаимного влияния; однако различие было не так значительно, как я ожидал.

1100. Итак, все эти явления доказывают, что указанные эффекты обусловлены индуктивным действием, происходящим в момент прекращения главного тока. Одно время я полагал, что действие, которым они обусловлены, длится в течение *всего времени* существования тока, и ожидал, что стальной магнит будет, подобно стрелке из мягкого железа, оказывать усиливающее влияние в зависимости от его положения в спирали. Однако это не так, ибо твердая сталь или магнит в спирали действуют не так сильно, как мягкое железо; каким образом магнит расположен в спирали, — это также не играет никакой роли, и по той простой причине, что явление зависит не от постоянного состояния сердечника, а от *изменения его состояния*; изменение же состояния магнита или твердой стали в момент разъединения контакта не может быть так сильно, как у мягкого железа, а потому не может произвести такого же действия в смысле создания путем индукции тока электричества (34, 37).

1101. Электрический ток действует индуктивно с одинаковой силой в момент своего возникновения и в момент прекращения (10, 26), но в противоположных направлениях. Сводя рассматриваемые явления к индуктивным действиям, мы должны поэтому прийти к заключению, что в длинном проводе, спирали

или электромагните при каждом замыкании контакта с источником должны возникать соответствующие явления противоположного характера. В первый момент эти явления стремятся вызвать в длинном проводнике некоторое сопротивление, производя результат, эквивалентный удару или искре в обратном направлении. Однако очень трудно придумать способ, который бы давал возможность распознать такие отрицательные результаты; впрочем, не исключена возможность, что одновременно производится и некоторое положительное действие; и нужно только знать, чего следует ожидать; поэтому, я полагаю, стоило бы упомянуть о тех немногих относящихся к этому предмету фактах, которые мне известны.

1102. Электромагнит и электролитический прибор были помещены в точке x , как было описано выше (1084), с той только разницей, что я повышал интенсивность химического действия в источнике до тех пор, пока электрический ток не оказывался способным давать только-только самые слабые признаки разложения при поддержке контакта в G и E (1079); иод появлялся, конечно, у конца поперечного провода P . Кроме того, провод N отделялся от провода A в точке r , так что в этой точке по желанию можно было производить замыкание и размыкание. При этих условиях несколько раз подряд был проделан следующий ряд операций: контакт в r размыкался, затем размыкание производилось в G , потом замыкался контакт в r и, наконец, возобновлялся контакт в G ; таким образом устранялась возможность какого бы то ни было тока от N к P , происходящего от размыкания контакта, тогда как всякое усиление тока от P к N , обусловленное замыканием контакта, можно было наблюдать. Таким путем было найдено, что с помощью нескольких замыканий контакта можно получить гораздо более сильное действие разложения (вызывая выделения иода у P), чем с помощью тока, который проходил бы в течение значительно большего промежутка времени при замкнутом контакте. Я приписываю это действию индукции в проводе ABD в момент замыкания, в результате которого данный провод становится худшим про-

водником, или, вернее, на момент задерживается прохождение через провод электричества, так что по пути, представляемом поперечным проводом NP , направляется большая часть создаваемого в источнике электричества. В момент прекращения индукции провод ABD полностью восстанавливал свою способность проводить постоянный ток электричества, которая, как мы знаем из предшествующих опытов (1060), могла сильно возрасти благодаря противоположному индуктивному действию, возникающему в момент размыкания контакта в Z или C .

1103. Затем в x вводился гальванометр, и отмечалось отклонение стрелки при сохранении контакта в G и E ; после этого стрелка, как и раньше, закреплялась в отклоненном положении (1087), так что при прекращении тока она не могла вернуться в положение равновесия, а оставалась в том положении, в котором ее удерживал бы ток. Затем размыкался контакт в G или E , причем, конечно, видимого действия не происходило; затем контакт возобновлялся, и стрелка мгновенно отклонялась, переходя от воткнутых булавок в положение, еще более удаленное от равновесия, чем то, которое было бы вызвано постоянным током; таким образом можно было показать временным избытком тока в поперечном проводе временную задержку его в участке ABD .

1104. Подобрал в x платиновую проволочку (1081) таким образом, чтобы она не раскалялась током, проходящим через нее при *поддержании* контакта в G и E , но доходила до красного каления при несколько более сильном токе, я легко мог вызывать раскаливание ее как при *замыкании контакта*, так и при *размыкании его*. Этот результат, в свою очередь, указывал на наличие кратковременной задержки в ABD при замыкании контакта, а также на наличие противоположного действия при размыкании. Электрические токи, производившие в этих двух случаях раскаливание проволоки в x , конечно, проходили в противоположных направлениях.

1105. С одной только *спиралью* я, по уже упомянутым причинам (1088), не мог получить в x отчетливого отклонения,

которое следовало бы приписать этому дополнительному действию в момент замыкания. Когда я брал в этом месте очень тонкую платиновую проволочку (1083), мне удавалось в момент замыкания раскалить ее таким же образом, но отнюдь не в такой же степени, как при помощи электромагнита (1104).

1106. Как и в описанных выше случаях (1090), мы можем изучить и оценить действия при замыкании контакта, перенося индуктивную силу из провода, несущего первичный ток, в соседний; в этом случае как из химического действия, так и из показаний гальванометра мы можем почерпнуть уверенность, что, подобно действию и противодействию, силы при замыкании и размыкании контакта равны по величине, но противоположны по направлению (1091). Следовательно, если явление при замыкании контакта выражается лишь в задержке тока в первый момент его существования, то по своей величине эта задержка должна быть эквивалентна тому значительному усилению того же тока, которое происходит в момент размыкания контакта.

1107. Значит, здесь обстоятельства таковы, что напряжение и количество электричества, проходящего в токе, в момент возникновения или усиления тока меньше, а в момент его ослабления или прекращения — больше, чем они бы были, если бы возникающее в этот момент индуктивное действие не имело места, или иначе: чем напряжение и количество электричества в первичном проводе, несущем ток, если бы индуктивное действие перенести из этого провода в соседний (1090).

1108. Судя по той легкости, с какой индуктивные действия передаются соседним проводам, и по производимым действиям вообще, можно думать, что индуктивные силы — поперечны, т. е. что они проявляются в направлении, перпендикулярном направлению производящего и производимого токов; повидимому, они в точности могут быть представлены магнитными кривыми и находятся в тесной связи с магнитными силами, а, может быть, и тождественны с ними.

1109. Не подлежит сомнению, что ток в одной части провода может путем индукции действовать на другие части *того*

же самого провода, находящиеся рядом, т. е. расположенные в той же вертикальной плоскости (74) или несколько наклонные к нему (1112), точно так же, как он может действовать, создавая ток в соседнем проводе или в соседнем витке того же провода. Именно это и создает впечатление, что ток действует на *самого себя*; однако из всех опытов и по аналогии следует, что элементы (если так можно выразиться) токов не могут действовать на самих себя и тем вызывать рассматриваемое явление, а производят его таким способом, что возбуждают ток в расположенном рядом проводящем веществе.

1110. Некоторые выражения, которыми я пользовался, могут создать впечатление, что по существу индуктивное действие представляет собой действие одного тока на другой или одного элемента тока на другой элемент того же тока. Чтобы не дать повода к подобным заключениям, я должен пояснить свою мысль более определенно. Если взять замкнутый на себя провод, то мы можем возбудить в нем ток, который будет проходить по цепи кругом, не увеличивая электричества, которое находилось в проводе ранее. Насколько можно судить, электричество, которое проявляется в форме тока, есть то же самое электричество, которое до этого было в проводе неподвижно; и хотя мы до сих пор не в состоянии указать, в чем состоит существенное различие между состояниями электричества в такие моменты, но распознать эти два состояния легко. Когда ток действует путем индукции на рядом с ним расположенное проводящее вещество, то, вероятно, он действует на имеющееся в этом проводящем веществе электричество, — все равно, находится ли последнее в состоянии *тока* или же оно *неподвижно*; в первом случае он усиливает или ослабляет ток, смотря по его направлению; во втором — создает ток; величина же индуктивного действия в обоих случаях, вероятно, одинакова. При том ограничительном смысле, в котором в настоящее время понимается термин «ток» (283, 517, 667), было бы, следовательно, ошибкой утверждать, что индуктивное действие обусловлено взаимодействием двух или большего числа токов.

1111. Некоторые явления, как, например, явления в спиральных (1066) с одинаково или противоположно направленными токами (1097, 1098), создание токов в лежащих рядом проводах (1090), указывали, повидимому, что ток может с большей легкостью вызывать индуктивное действие в соседнем проводе, чем в проводе, несущем его; а в таком случае можно было бы ожидать, что замена одного провода пучком проводов привела бы к иным результатам. Поэтому были произведены следующие опыты. Медный провод диаметром в одну двадцать третью дюйма был разрезан на куски длиной в пять футов каждый; по шести таких отрезков было сложено пучком, а противоположные концы их были припаяны к двум медным стержням. Этим приспособлением можно было пользоваться как разряжающим проводом, но основной ток мог подразделяться на шесть параллельных потоков, которые можно было тесно сжать или же, раздвигая провода, более или менее изъять один из-под влияния другого. Мне кажется, что когда при размыкании контакта шесть проводов были сближены, искра получалась несколько ярче, чем когда они были раздвинуты.

1112. Другой пучок, содержащий двадцать таких проводов, имел в длину восемнадцать футов; концевые стержни были диаметром в одну пятую дюйма и длиной шесть дюймов каждый. Этот пучок сравнивался с куском медного провода в девятнадцать дюймов длиной и одну пятую дюйма диаметром. При размыкании контакта, пучок давал более слабую искру, чем провод, даже тогда, когда отдельные жилы были связаны вплотную шнуром; при их раздвижении пучок давал еще более слабую искру. В общем, однако, ослабление действия было не так велико, как я ожидал, и я сомневаюсь, чтобы эти результаты можно было считать доказательством того, что приведшее к этим опытам предположение справедливо.

1113. Повидимому, индуктивная сила, с которой два элемента одного и того же тока (1109, 1110) действуют друг на друга, уменьшается по мере того, как соединяющая их прямая наклоняется к направлению тока, и исчезает совсем, когда она становится параллельна току. Некоторые результаты заставляют

меня подозревать, что в этом случае она превращается даже в отмеченную Ампером ¹ отталкивательную силу, которая является причиной описанного сэром Гемфри Дэви ² образования бугорков на ртути, и которая, с другой стороны, связана, вероятно, со свойством интенсивности.

1114. Несмотря на то, что рассматриваемые явления происходят только при замыкании и размыкании контакта (в промежутках ток, повидимому, не испытывает никаких сторонних влияний), я не могу противиться впечатлению, что и во время длительного существования тока (60, 242) имеют место соответствующие связанные с этим явления, производимые действием элементов электрического тока в поперечном направлении. В самом деле, действие такого рода проявляется в магнитных отношениях между частями тока. Но если допустить, как это мы сейчас сделаем, что такие поразительные и различные результаты в момент возникновения и прекращения тока создаются магнитными силами, то все же, повидимому, остается в этой цепи явлений одно звено, одно колесико в физическом механизме этого действия, которое до сих пор нам неизвестно. Если мы будем рассматривать электричество и магнетизм как следствия двух сил некоторого физического агента или особого состояния материи, проявляющегося в определенных, перпендикулярных друг другу направлениях, то, как мне кажется, мы должны допустить, что два этих состояния, или силы, в большей или меньшей степени могут переходить друг в друга; это значило бы, что отношение между электрической и магнитной силами, которыми обладает данный элемент, не остается постоянным, но что посредством некоторого, в настоящий момент нам неизвестного процесса или посредством изменения условий эти две силы могут в некоторой степени переходить одна в другую. Как же иначе ток данного напряжения и количества был бы в состоянии поддерживать своим прямым действием такое состояние, которое, если дать ему возможность проявлять

¹ Recueil d'Observations Electro-Dynamiques, стр. 285.

² Philosophical Transactions, 1823, стр. 155.

противодействие (при прекращении первоначального тока), создает второй ток, обладающий значительно более высоким напряжением и количеством, чем первоначальный ток. Это явление не может быть следствием прямого противодействия электрической силы, а если оно обусловлено превращением электрической силы в магнитную и обратно, то это указывает, что в отношении *того агента* в проводящем проводе, который является непосредственной причиной этих сил, последние различаются чем-то большим, чем просто направлением.

1115. Что касается того, что в различных случаях при замыкании и размыкании контакта проявляются противоположные действия, разделенные промежуточным и безразличным состоянием, то это разделение, вероятно, является только кажущимся, а не действительным. Если проводимость электричества осуществляется посредством колебаний (283) или каким-либо другим способом, при котором последовательно и с большой быстротой возбуждаются и нейтрализуются противоположные силы, то мы могли бы ожидать особого и противоположного по направлению развития силы в начале и в конце тех периодов, в течение которых длится проводящее действие (это до некоторой степени напоминает цвета, получающиеся по краям не вполне развитого солнечного спектра), а промежуточные действия, хотя их нельзя обнаружить тем же путем, могут оказаться весьма существенными и, может быть, и составляют самую сущность проводимости. Именно в силу подобных взглядов и соображений, которые, мне представляется, находятся в связи с самыми основными законами и данными учения об электричестве, я решил заняться более подробно, чем бы это сделал при других обстоятельствах, экспериментальным изучением описанных в настоящем докладе явлений.

1116. Прежде чем кончить, я хочу вкратце заметить, что точно такого же рода явления получались, когда я вместо единственной пары (1052) пользовался для опытов гальванической батареей из пятидесяти пар пластин. В силу приведенных выше причин искра при замыкании контакта была очень слаба

(1101, 1107), а искра при размыкании контакта — очень сильна и ярка. Характер *длительного* разряда тока, повидимому, не менялся, все равно, какой провод служил для замыкания цепи: короткий провод или мощный электромагнит.

1117. Получающиеся в момент возникновения и прекращения тока явления (которые при получении тока от гальванического прибора разделены некоторым промежутком времени) должны возникать одновременно, когда через длинный провод проходит обыкновенный электрический разряд. Полностью ли эти явления нейтрализуют друг друга в том случае, когда происходят в точности одновременно, или же они сообщают этому разряду некоторые особые свойства, — этот вопрос требует дальнейшего изучения, но весьма вероятно, что особый характер и резкость извлекаемых из длинного провода искр зависят отчасти от повышения напряжения, которое имеет место к концу разряда вследствие происходящего в этот момент индуктивного действия.

1118. Важное значение этих принципов действия с очевидностью обнаруживается в спиральном проводе магнитоэлектрических машин (как, например, прекрасного прибора г. Секстона) (Saxton). Конструкция этого прибора такова, что ток в течение первых моментов своего образования может проходить по замкнутой металлической цепи значительной длины; сила его постепенно возрастает, а затем ток внезапно прекращается вследствие размыкания металлической цепи; таким образом проходящему в этот момент электричеству *посредством индукции* сообщается высокое напряжение (1064, 1060). На это напряжение указывают не только яркость искры и сила удара, но и обнаруживаемая опытом необходимость хорошо изолировать витки спирали, в которой образуется ток; сила, которую указанное напряжение придает в эти моменты току, значительно превосходит ту, которую мог бы создать упомянутый прибор, если бы тот принцип, который составляет предмет настоящего доклада, не играл в нем некоторой роли.

Королевский институт,
8 декабря 1834 г.

ДЕСЯТАЯ СЕРИЯ

Раздел 16. О гальванической батарее усовершенствованного типа. Раздел 17. Некоторые практические указания по вопросу о конструкции гальванической батареи и пользовании ею.

Поступило 16 июня. Доложено 18 июня 1835 г.

1119. Недавно мне пришлось изучать гальваническую батарею практически, с целью усовершенствовать ее конструкцию и употребление, и хотя я далек от того, чтобы приписывать полученным мною выводам значение, равносильное открытию какого-либо нового закона или принципа, но, тем не менее, считаю, что они имеют известную цену, а потому краткое изложение их в связи с предшествующими докладами заслужит одобрение Королевского общества.

РАЗДЕЛ 16

О гальванической батарее усовершенствованного типа

1120. В простой гальванической цепи (то же справедливо и для батареи) химические силы, которые, проявляя свое действие, сообщают прибору его силу, распадаются, вообще говоря, на две части: проявление одной части ограничено одним местом, тогда как вторая передается по всей цепи (947, 996); последняя образует электрический ток прибора; первая, наоборот, целиком теряется или растрачивается. Отношение между этими двумя частями силы может под влиянием обстоятельств изменяться в широких пределах: так, в разомкнутой батарее, *все дей-*

ствие происходит в одном месте; в батарее обыкновенной конструкции при соединении друг с другом ее концов *значительная часть* сил находится в обращении, а в описанной мною (1010) усовершенствованной батарее *все* химические силы находятся в обращении и превращаются в электричество. Отношение между местными и передаваемым при заданных условиях действиями можно установить по количеству цинка, растворяющегося на пластинах (865, 1126) и по величине производимого в вольт-электрометре (711, 1126) или в другом приборе разложения; таким путем можно точно определить отдачу гальванического прибора и потерю химической силы у его цинковых пластин.

1121. Составим гальваническую батарею из цинка и платины, и пусть последний металл окружает первый, как в модели с двойными медными пластинками; для возбуждения всей системы будем пользоваться разбавленной серной кислотой; тогда между смежными платиновыми поверхностями не потребуется никаких изолирующих перегородок из стекла, фарфора или воздуха; и если только они металлически не соприкасаются, то та же самая кислота, которая, находясь между цинком и платиной, вызывает сильное действие батареи, не произведет разряда электричества между двумя поверхностями платины и не вызовет ослабления силы всей батареи. Это является необходимым следствием того сопротивления прохождению тока, которое, как я показал выше, возникает в месте разложения (1007, 1011), ибо это сопротивление вполне способно приостановить ток, а потому действует как изоляция для электричества смежных пластин, поскольку напряжение тока, стремящегося пройти между ними, никогда не бывает выше того, которое производится действием одной пары.

1122. Если металлом, окружающим цинк, будет медь (1045), а кислота будет азотно-серная (1020), то между смежными медными пластинами имеет место слабый разряд, если только не имеется другого канала, через который могут обращаться силы; если же такой канал имеется, указанный обратный разряд

крайне ослабляется в соответствии с законами, изложенными в восьмой серии настоящих исследований.

1123. Исходя из этих принципов, я пришел к конструкции гальванической батареи, в которой медные пластины, окружающие обе поверхности цинка, как в конструкции Волластона, отделены друг от друга исключительно промежуточным слоем бумаги или еще как-нибудь иначе, чтобы только предупредить металлический контакт; таким образом получается компактный, мощный, дешевый и удобный прибор. Однако, ознакомившись с тем, что было сделано ранее, я обнаружил, что эта новая батарея во всех существенных отношениях совпадает с изобретенной и описанной профессором Пенсильванского университета д-ром Гейром, я с большим удовольствием пользуясь случаем указать это.

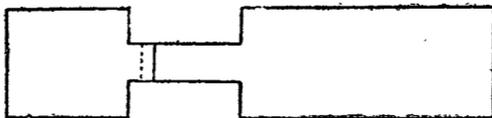


Рис. 106.

1124. Д-р Гейр подробно описал свою батарею.¹ Смежные медные пластины отделяются в ней друг от друга с помощью тонких деревянных щепочек, а чтобы налить кислоту на пластины или слить ее с них, достаточно повернуть на четверть оборота ось, к которой прикреплены как ящик, содержащий пластины, так и второй ящик, куда собирается жидкость. Я нашел эту систему самой удобной из всех и поэтому на ней остановился. Цинковые пластины я вырезал из листового металла; к ним были припаяны медные пластины, после чего они получили вид, изображенный на рис. 106. Затем я согнул их по шаблону, причем им был придан тот вид, который изображен на

¹ Philosophical Magazine, 1824, LXIII, стр. 241 или Silliman's Journal, VII. См. также предыдущую статью д-ра Гейра: Annals of Philosophy, 1821, I, стр. 329, в которой он указывает, что изоляция между медными пластинами не нужна.

рис. 107. Они были вложены в изготовленный для них деревянный ящик, в том порядке, который мы видим на рис. 108;¹ для того чтобы цинковые пластины не касались медных, между ними были проложены куски пробки, а чтобы помешать соприкосновению смежных поверхностей меди, между ними было проложено по одному или по два слоя картона. Это устройство оказалось



Рис. 107.

настолько удобным, что батарею в сорок пар пластин можно было разобрать в течение пяти минут и собрать заново в полчаса; длина всей системы не превосходила пятнадцать дюймов.

1125. Такая батарея в сорок пар пластин, площадью по три квадратных дюйма каждая, сравнивалась в отношении накаливания платиновой проволоки, разряда между остриями из древесного угля, удара на человеческое тело и т. д. с батареей в сорок пар четырехдюймовых пластин; в этой батарее медные пластины были двойные; пары были помещены в фарфоровые сосуды, подразделенные на изолированные элементы; крепость кислоты, служившей для возбуждения, в обоих случаях была одна и та же. В отношении всех этих действий первая батарея оказалась вполне одинаковой с последней. При сравнении еще одной батареи новой конструкции, содержавшей двадцать пар четырехдюймовых пластин, и батареи из двадцати пар четырехдюймовых пластин в фарфоровых сосудах с кислотой той же крепости, новая батарея превосходила старую в отношении указанных выше действий, а особенно в отношении накаливания проволоки.

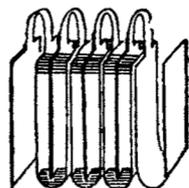


Рис. 108.

1126. В этих опытах сила новой батареи ослабевала значительно быстрее, чем в старой конструкции, и это являлось необходимым следствием того, что для ее возбуждения имелось меньше кислоты; количество последней в случае сорока пар пластин новой конструкции составляло всего одну седьмую

¹ Бумажки между медными пластинами на рисунке для ясности опущены,

часть того, которое служило для сорока пар пластин в фарфоровых сосудах. Поэтому для сравнения разлагающей способности этих двух гальванических батарей и для получения точных данных об их относительных достоинствах были проделаны опыты следующего рода. Батареи заливались известным количеством кислоты определенной крепости; электрический ток пропусклся через вольта-электрометр (711), снабженный электродами длиной в 4 дюйма и шириной в 2,3 дюйма и представлявший току возможно меньшее сопротивление; выделяемые газы собирались и измерялись для определения количества разложенной воды. Затем вся работавшая кислота перемещивалась, и определенная часть ее подвергалась анализу осаждением и кипячением с избытком карбоната натра; осадок хорошо отмывался, сушился, прокаливался и взвешивался. Таким путем было установлено количество окисленного и растворенного кислотой металла; можно было вычислить количество металла, растворившегося с каждой или со всех цинковых пластин, и его можно было сравнить с количеством разложенной в вольта-электрометре воды. Для сравнимости полученных данных я сделал пересчет таким образом, чтобы выразить в эквивалентах цинка потери на пластинах на один эквивалент воды, разложенной в вольта-электрометре; эквивалент воды я принимал равным 9, а цинка — 32,5 и считал, что 100 кубических дюймов смеси кислорода и водорода, собранных в пневматической ванне, получается от разложения 12,68 грана воды.

1127. В этих опытах я испытывал три кислоты: серную, азотную и соляную. Серная кислота представляла собой крепкое купоросное масло; один кубический дюйм ее был эквивалентен 486 грамам мрамора. Азотная кислота была почти совершенно чистая; один кубический дюйм ее растворял 150 гран мрамора. Соляная кислота также была почти совершенно чистая, и один кубический дюйм ее растворял 108 гран мрамора. Эти кислоты разбавлялись всегда водой по объему; единицей объема был кубический дюйм.

1128. Была приготовлена кислота, состоящая из 200 частей воды, $4\frac{1}{2}$ частей серной кислоты и 4 частей азотной; этой кисло-

той были заряжены как моя батарея, содержащая сорок пар трехдюймовых пластин, так и четыре соединенные последовательно батареи в фарфоровых сосудах, которые содержали по десять пар четырехдюймовых пластин (медные были двойные). Эти две батареи работали попеременно, и каждой давали действовать минут двадцать — тридцать, пока кислота не истощалась почти совершенно; в течение всего этого времени тщательно поддерживалось соединение с вольта-электрометром, а кислота в сосудах время от времени перемешивалась. При таких условиях первая батарея работала настолько хорошо, что на каждый эквивалент разложенной в вольта-электрометре воды с отдельной пластины растворялось всего от 2 до 2,5 эквивалента цинка. Среднее из четырех опытов дало 2,21 эквивалента на каждую пластину, или 88,4 на всю батарею. В батарее с фарфоровыми сосудами расход был равен 3,54 эквивалента на каждую пластину, или 141,6 на всю батарею. В совершенной гальванической батарее из сорока пар пластин (991, 1001) расход был бы равен одному эквиваленту на каждую цинковую пластину, или сорока эквивалентам на всю систему.

1129. Подобные же опыты были произведены с двумя гальваническими батареями, содержащими одна двадцать пар расположенных как мною описано (1124) четырехдюймовых пластин, а другая — двадцать пар четырехдюймовых пластин в фарфоровых сосудах. Среднее из пяти опытов дало для первой расход в 3,7 эквивалента цинка на каждую пластину, или 74 на всю батарею; для последней среднее из трех опытов было равно 5,5 эквивалента на каждую пластину, или 110 на всю систему; при выводе этого заключения не были приняты во внимание два опыта, сильно говоривших против батарей в фарфоровых сосудах; было принято, что при них случайно проявилось какое-то неизвестное вредное влияние. Во всех этих опытах из предосторожности не сравнивались друг с другом *новые* и *старые* пластины, что могло бы внести серьезные ошибки в наши заключения (1146).

1130. При работе десяти пар [пластин] новой системы расход цинка на каждую пластину был равен 6,76 эквивалента,

или 67,6 на всю батарею. При десяти парах обыкновенной конструкции в фарфоровом сосуде количество окисленного цинка в среднем равнялось 15,5 эквивалента на каждую пластину, или 155 на всю батарею.

1131. Таким образом не может быть никакого сомнения относительно равноценности и даже значительного превосходства гальванической батареи этого типа над самыми лучшими из бывших до сих пор в употреблении, а именно над батареей с двойными медными пластинками, с изолированными отдельными элементами. Можно, следовательно, обходиться без изоляции медных пластин, и это-то обстоятельство, главным образом, и позволяет делать те различные изменения в конструкции батареи, которые придают ей ее практические преимущества.

1132. Преимущества этой конструкции батареи весьма многочисленны и велики: I. Она чрезвычайно компактна, ибо ящик, потребный для 100 пар пластин, будет длиной не более трех футов. II. По плану д-ра Гейра ящик вращается вокруг медных осей, опирающихся на медные подшипники; последние представляют собой *неподвижные* зажимы; я нашел, что очень удобно соединить их с двумя чашечками со ртутью, укрепленными спереди на стойке прибора. Эти неподвижные зажимы представляют большое преимущество, так как посредством их можно производить соединения между предназначенным для употребления прибором и батареей *раньше*, чем последняя приведена в действие. III. Батарея приводится в готовность в один момент; одной кружки разбавленной кислоты достаточно для зарядки 100 пар четырехдюймовых пластин. IV. Батарея начинает работать при наклоне ящика на четверть поворота, и при этом получается то большое преимущество, что для опыта не пропадает действие *первого контакта* между цинком и кислотой, которое в два, а иногда даже в три раза превосходит то действие, которое батарея способна давать одну или две минуты спустя (1036, 1150). V. По окончании опыта кислоту можно сразу вылить из пространства между пластинами, так что батарея никогда не расходуется в разомкнутом состоянии; кислота без

необходимости не истощается; цинк бесполезно не тратится; и мало того, что мы избегаем этих неприятностей, кислота перемешивается и становится однородной, что сильно и хорошо отражается на результатах (1039); при переходе же к следующему опыту снова получается выгодное действие *первого контакта*. VI. Экономия цинка очень велика. Дело не только в том, что при своем действии цинк совершает больше гальванической работы (1128, 1129), но и в том, что предотвращается *всякое* разрушение его в период между опытами, что случается в батареях обыкновенных типов. Эта экономия настолько велика, что, по моей оценке, полезная отдача цинка при новой конструкции батареи в три раза больше, чем при обыкновенной конструкции. VII. Значение этой экономии заключается не только в том, что сберегается стоимость цинка, но и в том, что батарея становится значительно легче и удобнее в обходе, а также и в том, что при сборке батареи поверхности цинковых и медных пластин могут быть значительно сильнее сближены, и можно оставлять их в таком состоянии до тех пор, пока они не израсходуются; последнее является весьма важным преимуществом (1148). VIII. Далее, так как вследствие экономии металла работу более толстых могут выполнять более тонкие пластины, то можно брать для устройства батарей листовой цинк; а я нашел, что листовой цинк в действии превосходит литой; это превосходство я склонен приписывать большей его чистоте (1144). IX. Еще одно преимущество заключается в экономии потребляемой кислоты; эта экономия пропорциональна уменьшению количества растворяющегося цинка. X. Кислота, кроме того, легче используется до конца, а количество ее так незначительно, что никогда не встречается оснований к тому, чтобы вторично пользоваться старой кислотой. Отработанная кислота, стоящая без употребления, часто растворяет частицы меди, которая содержится в перемешанных с кислотой темных хлопьях, получающихся из цинка; всякое же количество растворенной в кислоте меди приносит значительный вред, так как вследствие *местного* взаимодействия кислоты и цинка медь

обнаруживает стремление осаждаться на последнем, чем уменьшается его гальваническая отдача (1145). XI. Если для зарядки пользоваться надлежащей смесью азотной и серной кислот (1139), газа в батарее не выделяется, так что батарею, состоящую из нескольких сот пар пластин, можно без всякого неудобства ставить поблизости от экспериментатора. XII. Если в течение ряда опытов кислота истощится, то ее без всякого труда можно вылить и заменить другой, а по окончании опытов пластины легко промыть, что тоже представляется большим преимуществом. И мне кажется, что батарея д-ра Гейра не приносит в жертву друг другу, смотря по обстоятельствам, то удобство, то силу, то экономию, чтобы достигнуть желаемой цели, а дает все эти преимущества сразу.

1133. Имеются, однако, и некоторые недостатки, на исправление которых у меня до сих пор не было времени, хотя я и надеюсь, что в конце концов я с ними справлюсь. Один из них заключается в чрезвычайной трудности изготовить деревянный ящик, который бы был длительно водонепроницаем при тех сменах смачивания и высушивания, которым подвергается гальванический прибор. Для устранения этого недостатка г-н Ньюмен (Newman) в настоящее время занят получением фарфоровых сосудов. Другим недостатком является осаждение меди на цинковых пластинах. Я думаю, что оно обусловлено преимущественно тем обстоятельством, что при опоражнении батареи слои бумаги между медными пластинами удерживают кислоту, и что эта кислота, действуя понемногу на медь, образует соль, которая постепенно смешивается со следующей порцией кислоты и восстанавливается на цинковой пластине в результате местного действия (1120); сила всей батареи тогда уменьшается. Я рассчитываю, что, пользуясь стеклянными или деревянными прокладками для отделения по краям медных пластин, можно в достаточной мере предотвратить их соприкосновение, а пространство между ними будет при этом настолько доступно, что кислоту можно будет выливать и отмывать, и таким образом по окончании опытов, для которых мы пользовались батареей, удалять эту кислоту *отвсюду*.

1134. Существенное превосходство батарей, которые я соорудил по этому плану, прежде всего и главным образом обусловлено, я полагаю, более тесной близостью поверхностей цинка и меди: в моих батареях они отстоят друг от друга всего на одну десятую дюйма (1148), а затем — лучшим качеством листового цинка, по сравнению с литым, которым пользуются для устройства обыкновенного элемента. Изоляция между смежными поверхностями меди, конечно, не может быть недостатком, но я не нахожу, чтобы в ней заключалось какое-либо преимущество; и действительно, иногда я пользовался как при сорока парах трехдюймовых, так и при двадцати парах четырехдюймовых пластин тщательно провощенной бумажкой¹ таких размеров, что при загибании по краям они находили друг на друга и образовали элементы, изолированные так же хорошо, как в фарфоровых сосудах; но заметного преимущества в отношении химического действия я при этом не получал.

1135. Так как принципиально должна иметь место утечка части электричества от краев цинковых и медных пластин к стенкам ящика, то я считал бы полезным (и имею в виду сделать это) построить батареи с пластиной или пластинами из кронгласа по стенам ящика; на дне таковых не требуется, хотя покрытие стеклом днища и краев было бы не вредно. Укреплять пластины не надо, достаточно просто установить их на своих местах; не требуется также, чтобы они были целиком из одного куска.

РАЗДЕЛ 17

Некоторые практические указания по вопросу о конструкции гальванической батареи (1034 и т. д.) и пользовании ею

1136. Каждый ученый электрохимик знаком с практическими результатами, полученными с гальванической батареей гг. Гей-Люссаком и Тенаром и изложенными на первых сорока пяти

¹ Один лист изготовленной таким образом бумаги мог изолировать электричество в сорок пар пластин.

страницах их «Физико-химических исследований». Хотя последующие результаты имеют в основном тот же характер, тем не менее, достаточным оправданием для них служат успехи, достигнутые в этой отрасли знания за последние годы, открытие закона об определенности действия электричества и более точный и научный способ оценки результатов по числу затраченных эквивалентов цинка.

1137. Природа и крепость кислоты. Моя батарея, состоявшая из сорока пар трехдюймовых пластин, заряжалась кислотой, состоявшей из 200 частей воды и 9 частей купоросного масла. Если взять среднее из данных всех опытов, каждая пластина на один эквивалент разложенной в вольт-электрометре воды теряла 4,66 эквивалента цинка, или 186,4 эквивалента на всю батарею. При зарядке смесью из 200 частей воды и 16 частей соляной кислоты каждая пластина теряла 3,8 эквивалента цинка на эквивалент разложенной воды, т. е. вся батарея теряла 152 эквивалента цинка. Будучи заряжена смесью 200 частей воды с 8 частями азотной кислоты, каждая пластина теряла на один эквивалент разложенной воды 1,85 эквивалента цинка, или 74,16 эквивалента на всю батарею. Серная и соляная кислоты выделяли у пластин батареи много водорода; азотная кислота газа совсем не выделяла. Относительная крепость исходных кислот была дана выше (1127), но различие в этом отношении не вызывает существенных различий в результатах, если выражать последние в эквивалентах (1140):

1138. Таким образом наилучшей для этой цели оказывается азотная кислота. Ее превосходство основано, повидимому, на том, что она, по причинам, разъясненным выше (905, 973, 1022), способствует электролизу жидкости в элементах батареи, а потому содействует и переносу электричества и созданию способных к передаче по цепи сил (1120).

1139. Можно было бы, следовательно, ожидать, что добавление азотной кислоты улучшит серную и соляную кислоты. Действительно, когда та же самая батарея заряжалась смесью из 200 частей воды, 9 частей купоросного масла и 4 частей азотной

кислоты, то расход цинка на каждую пластину был равен 2,786, а на всю батарею — 111,5 эквивалента. Когда кислота состояла из 200 частей воды, 9 частей купоросного масла и 8 частей азотной кислоты, то расход на каждую пластину составлял 2,26, а на всю батарею — 90,4 эквивалента. Когда батарея была заряжена смесью из 200 частей воды, 16 частей соляной и 6 частей азотной кислоты, то расход на одну пластину составлял 2,11 эквивалента, или 8,44 эквивалента на всю батарею. Подобные же результаты получались с моей батареей, состоявшей из двадцати пар четырехдюймовых пластин (1129). Отсюда очевидно, что добавление азотной кислоты к серной весьма полезно, а поэтому смесь, которую я с этого времени употреблял для обычных опытов, составлялась обыкновенно из 200 частей воды, $4\frac{1}{2}$ частей купоросного масла и 4 частей азотной кислоты.

1140. Не следует полагать, что вышеуказанные различия происходили от разной крепости кислот, ибо я нашел, что в известных пределах электролитические действия почти пропорциональны крепости кислот, так что выражение для силы, данное в эквивалентах, остается почти постоянным. Так, когда я заряжал батарею смесью из 200 частей воды и 8 частей азотной кислоты, каждая пластина теряла 1,854 эквивалента цинка. Когда жидкость состояла из 200 частей воды и 16 частей азотной кислоты, потеря на одну пластину составляла 1,82 эквивалента. Когда она состояла из 200 частей воды и 32 частей азотной кислоты потеря была равна 2,1 эквивалента. Здесь расхождения не превосходят тех, которые происходят от неизбежных неправильностей, зависящих не от крепости кислоты, а от других причин.

1141. Далее, когда я брал смесь из 200 частей воды, $4\frac{1}{2}$ частей купоросного масла и 4 частей азотной кислоты, то каждая цинковая пластина теряла 2,16 эквивалента, а когда та же самая батарея была заряжена составом из 200 частей воды, 9 частей купоросного масла и 8 частей кислоты, то каждая пластина теряла 2,26 эквивалента.

1142. Едва ли нужно говорить, что при правильной работе гальванической батареи медь не растворяется. Я обнаружил,

что при пользовании азотной кислотой — все равно, чистой или в смеси с серной — в элементах образуется много аммиака. Он образуется частью в качестве вторичного продукта разложения у катодов (663) различных порций жидкости, которая является необходимым в элементе электролитом.

1143. О д н о р о д н о с т ь з а р я д н о й ж и д к о с т и . Как я показал выше на опыте (1042 и т. д.), этот пункт является весьма существенным. Отсюда одно из значительных преимуществ механического устройства батареи д-ра Гейра.

1144. Ч и с т о т а ц и н к а . Если бы можно было получить чистый цинк, то это дало бы большие выгоды при постройке гальванического прибора (998). Обыкновенно у цинка при погружении его в разбавленную серную кислоту на поверхности остается в виде корки большее или меньшее количество нерастворимого вещества, содержащего разные металлы, как, например, медь, свинец, цинк, железо, кадмий и т. д., в металлическом состоянии. Разряжая часть способной передаваться по цепи силы, такие частицы придают ей по отношению ко всей батарее местный характер, и таким образом ослабляют действия. Как на признак более или менее совершенного действия батареи я могу указать на то, что от цинковых пластин не должен подниматься газ. Чем больше газа получается у этих поверхностей, тем сильнее местное действие, и тем меньше та сила, которая способна передвигаться по цепи. Оседающая корка неудобна еще тем, что предотвращает перемещение и возобновление жидкости на поверхности цинка. Наилучшим цинком является такой, который, растворяясь в разбавленной кислоте без остатка, растворяется при этом наиболее медленно; особенно следует избегать цинка, содержащего медь. Вообще говоря, я нашел, что наиболее чистым является листовой цинк льежский или фирмы Моссельман, и превосходство новой батареи (1134) частью следует приписать тому обстоятельству, что при ее устройстве я пользовался этим цинком.

1145. З а г р я з н е н и е ц и н к о в ы х п л а с т и н . После употребления пластины батареи следует очищать от металли-

ческого порошка на их поверхности, особенно если ими пользуются для установления законов действия самой батареи. В описанных опытах с батареями в фарфоровых сосудах (1125 и т. д.) эта предосторожность принималась всегда. Если среди большого числа чистых пластин примешается несколько загрязненных, то действие различных элементов делается неправильным, и сила, передаваемая по цепи, соответственно уменьшается, тогда как местная бесполезная сила возрастает. Для заливки батареи не следует пользоваться старой жидкостью, содержащей медь.

1146. Новые и старые пластины. Я нашел, что если в гальванических батареях пластины новые, они действуют гораздо сильнее, чем когда они уже служили два или три раза; нельзя поэтому сравнивать друг с другом новую и бывшую в употреблении батарею, и даже одну и ту же батарею при первом ее употреблении и после того, как она служила много раз. Моя батарея из двадцати пар четырехдюймовых пластин, залитая кислотой, состоящей из 200 частей воды, $4\frac{1}{2}$ частей купоросного масла и 4 частей азотной кислоты, при первом пользовании ею давала потерю в 2,32 эквивалента на пластину. При употреблении ее с той же самой возбуждающей жидкостью в четвертый раз потеря составляла от 3,26 до 4,47 эквивалента на пластину; среднее было равно 3,7 эквивалента. При первом употреблении сорока пар пластин (1124) потеря на каждую пластину была равна всего 1,65 эквивалента, а в дальнейшем потеря достигла 2,16; 2,17 и 2,52. Когда двадцать пар четырехдюймовых пластин в фарфоровых сосудах работали в первый раз, то было израсходовано всего 3,7 эквивалента на пластину, но после этого потери составляли 5,25; 5,36 и 5,9 эквивалента. Между тем, во всех этих случаях цинковые пластины перед каждым испытанием силы хорошо очищались от приставшей к ним меди и т. п.

1147. При прокатанном цинке уменьшение силы вскоре становилось как бы постоянным, т. е. не шло дальше. При литых же цинковых пластинах, которые имелись в батареях с фар-

форовыми сосудами, оно, повидимому, продолжалось до тех пор, пока, наконец, при той же кислоте каждая пластина не стала расходовать на то же количество действия вдвое больше цинка, чем вначале. Впрочем, эти батареи обнаруживали такие неправильности, что я не всегда мог определить те условия, которые влияют на величину электролитического действия.

1148. Близость меди и цинка. Общеизвестно значение этого пункта для конструкции гальванических устройств и то, что когда поверхности цинка и меди находятся близко друг к другу, получается более высокая сила в смысле непосредственного действия, чем когда они раздвинуты дальше. Я нахожу, что сила больше не только в первый момент, но значительно возрастает по сравнению с общей суммой химического действия у пластин также и общее количество силы, которую можно передать по цепи. Причина этого выигрыша вполне очевидна. Все, что стремится задержать обращение способной передаваться на расстояние силы (т. е. электричества), уменьшает относительное количество этой силы и увеличивает количество той, которая имеет местный характер (996, 1120). Но жидкость в элементах обладает этим задерживающим свойством, и, следовательно, оказывает вредное действие в большей или меньшей степени, в зависимости от количества этой жидкости между цинковыми и медными пластинами, т. е. в зависимости от расстояния между их поверхностями. Поэтому батарея, в которой пластины расположены вдвое ближе друг от друга, чем в другой, будет производить больше силы, передаваемой в цепи, и меньше местной, чем вторая; и в силу того, что электролит в элементах может проводить ток с большей легкостью, как напряжение, так и количество электричества при данном расходе цинка возрастают. Этому обстоятельству я, главным образом, и приписываю превосходство описанной мною (1134) батареи.

1149. Превосходство двойных медных пластин над простыми также отчасти объясняется уменьшением сопротивления, оказываемого находящимся между металлами электролитом. В самом деле, площадь поперечного сечения промежуточной кис-

лоты при двойных медных пластинах становится почти вдвое больше, чем при применении простых пластин, и поэтому кислота проводит электричество лучше. Но выгода двойных медных пластин заключается главным образом в том, что они как бы удваивают (или почти удваивают) действующую поверхность цинка, ибо в батарее с простыми медными пластинами, при обычном устройстве элементов, та сторона цинка, которая не обращена к поверхности меди, почти совершенно не принимает участия в гальваническом действии; а кислота продолжает на нее действовать, и металл растворяется, производя местное действие (947, 996). Когда мы берем двойную медную пластинку, медь оказывается также и против второй поверхности цинковой пластины, и тогда значительная часть действия на последнюю превращается в силу, передаваемую по цепи; таким образом сила батареи в смысле количества электричества сильно возрастает.

1150. Первое погружение пластин. То, что при первом погружении пластин — безразлично, старые они или новые (1146), — получается сильное действие, я в другом месте приписал тому, что кислота, соприкасающаяся с цинковой пластиной (1003, 1037), не успела измениться; по мере того как кислота нейтрализуется, ее возбуждающая способность в той же мере ослабевает. Батарея конструкции д-ра Гейра обеспечивает в этом отношении значительное преимущество благодаря перемешиванию жидкости и тому, что каждый раз при употреблении батареи непосредственно после перерыва к пластинам подводится как бы свежая поверхность кислоты.

1151. Число пластин.¹ Наивыгоднейшее число пластин в батарее, предназначенной для химического разложения, почти целиком зависит от того сопротивления, которое надлежит преодолеть в месте действия; но каково бы ни было это сопротивление, существует определенное число пластин, которое является более выгодным, чем всякое иное их число, большее или меньшее. Десять пар четырехдюймовых пластин

¹ Gay-Lussac et Thénard. Recherches Physico-Chimiques, I, стр. 29.

в фарфоровом сосуде обыкновенной конструкции, действуя в вольта-электрометре (1126) на разбавленную серную кислоту с удельным весом 1,314, давали в среднем расход цинка 15,4 эквивалента на пластину, или 154 эквивалента на всю батарею. Двадцать пар таких же пластин в той же кислоте расходовало только 5,5 на пластину, или 110 эквивалентов на всю систему. Когда же действовало сорок пар таких же пластин, то расход металла был равен 3,54 эквивалента на пластину, или 141,6 на всю батарею. Таким образом в устройстве с *двадцатью* пластинами расход цинка был выгоднее, чем при установках в *десять* или *сорок* пластин.

1152. Далее, десять пар моих четырехдюймовых пластин (1129) расходовали при разложении по 6,76 эквивалента цинка, или 67,6 на все десять, тогда как двадцать пар таких же пластин, возбуждавшихся той же самой кислотой, теряли по 3,7 эквивалента каждая, или 74 эквивалента на всю батарею. В других сравнительных опытах с различным числом пар пластин десять пар трехдюймовых (1125) пластин расходовали по 3,725 эквивалента, или 37,25 на всю батарею, тогда как двадцать пар теряли по 2,53 каждая, или 50,6 всего, а сорок пар расходовали в среднем по 2,21, или в общем 88,4 эквивалента. Таким образом и в том и другом случае увеличение числа пар пластин не давало никаких преимуществ в смысле полезного создания *передаваемой по цепи химической силы* при том же *общем количестве химической силы*, действовавшей у поверхностей возбуждения (1120).

1153. Но если бы я пользовался в вольта-электрометре более слабой кислотой, т. е. худшим проводником, то число пластин, необходимых, чтобы произвести наивыгоднейшее действие, возросло бы; а если бы я взял в вольта-электрометре проводник лучше того, который имелся на самом деле, то я мог бы свести это число всего до одной пары. Так, например, это было бы, если бы для замыкания цепи я взял толстый провод (865 и т. д.). Причина этих изменений вполне очевидна, если принять во внимание, что каждая последующая пластина ничего не добавляет к тому количеству способной передаваться на рас-

стояние силы или электричества, которое приводится в движение первой пластиной; необходимо только, чтобы имелся хороший проводник; следующие пластины стремятся только повысить *напряженье* этого количества, сделать его более способным преодолевать сопротивление плохих проводников (994, 1158).

1154. *Б о л ь ш и е и л и м а л ы е п л а с т и н ы.*¹ Какими пластинами выгодно пользоваться для целей электролиза — большими или малыми, это, очевидно, зависит от той легкости, с которой может проходить способная передаваться на расстояние сила, или электричество. Если для данного частного случая известно наивыгоднейшее число пластин (1151), то более выгодным окажется добавление цинка путем увеличения *размеров* пластин, а не их *числа*. В то же время значительное увеличение размеров пластин будет до некоторой степени повышать их наивыгоднейшее число.

1155. Не следует пользоваться в одной и той же батарее большими и малыми пластинами одновременно; малые пластины причиняют потерю силы в больших, если только не возбуждать их соответственно более сильной кислотой, ибо при определенной кислоте малые пластины не могут в течение заданного времени передать такое же количество электричества, какое может выделить та же самая кислота, действуя на пластины большего размера.

1156. *О д н о в р е м е н н ы е р а з л о ж е н и я.* Когда число пластин в батарее значительно превосходит наивыгоднейшее количество (1151—1153), то можно с выгодой производить одновременно два и более разложений. Так, сорок пар пластин (1124) давали в одном вольта-электрометре 22,8 кубических дюймов газа. Будучи точно таким же образом заряжены снова, они давали в каждом из двух вольта-электрометров по 21 кубическому дюйму. В первом опыте полный расход цинка был равен 88,4 эквивалента, а во втором — всего 48,28 эквивалента на все количество воды, разложенной в обоих вольта-электрометрах.

¹ Gay-Lussac et Thénard. Recherches Physico-Chimiques, I, стр. 29.

1157. Но когда подобным же образом были испробованы двадцать пар четырехдюймовых пластин (1129), то результаты получились обратные. При одном вольта-электрометре было получено 52 кубических дюйма газа, а при двух — только по 14,6 кубического дюйма в каждом. Количество кислоты в этих двух случаях не было одинаковым, но крепость была одна и та же. Когда же эти результаты были сделаны сравнимыми путем пересчета их на эквиваленты (1126), то было обнаружено, что расход металла в первом случае был равен 74, а во втором — 97 эквивалентам на всю разложенную воду. Эти результаты зависят, конечно, от тех же самых условий торможения, сопротивления и т. п., о которых я упоминал, говоря о надлежащем числе пластин (1151).

1158. Совершенно очевидно, что способность *передачи*, или, как ее обычно называют, *проводимость* подлежащего разложению электролита и других включенных в цепь тел, должна быть, по возможности, хорошей¹ (1020, 1120). При совершенном проводнике и хорошей батарее проходит почти все электричество, т. е. химическая сила *почти целиком* становится способной передаваться по цепи даже при одной паре пластин (867). При включении в цепь непроводника никакая часть химической силы не может передаваться по цепи. При несовершенном проводнике способность передаваться по цепи приобретает большая или меньшая часть химической силы, в зависимости от того, улучшаются или ухудшаются условия, благоприятствующие передаче сил через несовершенный проводник; к этим условиям относятся действительное усиление или улучшение проводимости, увеличение размеров электродов, сближение электродов и повышение интенсивности проходящего тока.

1159. Включение обыкновенной ключевой воды вместо одного из вольта-электрометров при двадцати парах четырехдюймовых пластин (1156) создавало такое сопротивление, что по цепи

¹ Gay-Lussac et Thénard. Recherches Physico-Chimiques, I, стр. 13, 15, 22.

могло проходить менее одной пятнадцатой того количества способной передаваться силы, которое обращалось бы без него. Таким образом четырнадцать пятнадцатых имевшейся в нашем распоряжении силы батареи было уничтожено, превратившись в местную силу (о чем свидетельствовало выделение газа у цинковых пластин), хотя платиновые электроды в воде имели три дюйма в длину, почти дюйм в ширину и отстояли друг от друга не более как на четверть дюйма.

1160. На это обстоятельство, т. е. повышение проводимости, увеличение размеров электродов и на их сближение, следует обратить особое внимание в вольта-электрометрах. Причины, от которых зависит их выгода, настолько очевидны, что развивать их подробнее здесь нет надобности.

Королевский институт.

11 октября 1834 г.

ОДИННАДЦАТАЯ СЕРИЯ

Раздел 18. Об индукции. Глава I. Индукция — действие смежных частиц. Глава II. Об абсолютном заряде материи. Глава III. Электрометр и индуктивный прибор, служившие для опытов. Глава IV. Индукция по кривым линиям. Глава V. Об удельной индукции или удельной индуктивной способности. Глава VI. Общие выводы относительно природы индукции.

Поступило 30 ноября. Доложено 21 декабря 1837 г.

РАЗДЕЛ 18

Об индукции

ГЛАВА I

Индукция — действие смежных частиц

1161. Учение об электричестве находится в той стадии, когда каждый из его отделов требует экспериментального изучения, и не только для того, чтобы открывать новые явления, но, что в данный момент гораздо существеннее, и для того, чтобы развивать способы, посредством которых производятся уже известные явления, и чтобы, таким образом, более точно определять самые основы действия этой необыкновенной и универсальной силы природы. И если ученый отдается исследованиям с ревностью, но одновременно с осторожностью, сочетая опыт с аналогиями, если он с недоверием относится к своим собственным предвзятым мнениям и факт ставит выше теории, если он не слишком поспешно делает обобщения и, что самое

важное, на каждом шагу готов подвергнуть свои собственные суждения всесторонней проверке как путем рассуждения, так и путем опыта, то для такого ученого ни одна отрасль знания не представит такого прекрасного и легкого поля для открытий, как эта. Что дело обстоит так, вполне подтверждается успехами, достигнутыми в области электричества за последние тридцать лет. Химия и учение о магнетизме одно за другим признали главенствующее значение электричества, и весьма вероятно, что все явления, производимые силами неорганической материи, а, может быть, и большинство тех, которые относятся к растительной и животной жизни, окажутся в конце концов ему подчиненными.

1162. Среди различного рода действий, по которым принято подразделять учение об электричестве, нет, я полагаю, ни одного, которое превосходило бы или хотя бы было сравнимо с тем, которое было названо *индукцией*. Индукция играет самую общую роль во всех электрических явлениях, участвуя, повидимому, в каждом из них, и носит в действительности черты первейшего существенного и основного начала. Ее понимание является настолько важным, что без более глубокого понимания ее природы нельзя, мне кажется, значительно продвинуться вперед в исследовании законов электричества; каким иным путем можно надеяться понять ту гармонию или даже единство действия, которое, несомненно, управляет возбуждением электричества посредством трения, химических реакций, тепла, магнитного влияния, испарения и даже в живом организме?

1163. В течение длительных экспериментальных исследований, предпринятых мною, я постоянно приходил к одному общему выводу, а именно: о необходимости признания двух сил или двух форм или направлений силы (516, 517), при невозможности отделить друг от друга эти две силы или два электричества ни в явлениях статистического электричества, ни в явлениях тока. В связи с этим меня преследовала мысль о невозможности ни при каких пока что условиях зарядить какое-либо вещество только одним или другим родом электричества; она пробудила

во мне желание страстно искать более ясное представление, чем все мне известные, о том, каким образом электрические силы связаны с частицами вещества, особенно при индуктивных действиях, к которым, повидимому, сводятся почти все остальные действия.

1164. Когда я открыл тот общий факт, что электролиты в твердом состоянии отказываются под действием тока отдавать свои элементы, хотя в жидком состоянии они легко их отдают (380, 394, 402), я решил, что нашел путь к выяснению индуктивного действия и к возможному подчинению многих разнородных явлений одному и тому же закону. В самом деле, пусть электролитом будет вода; если покрыть ледяную пластину с обеих сторон платиновой фольгой и эти обкладки соединить с каким-нибудь непрерывно действующим источником двух электрических сил, то лед будет заряжаться подобно лейденской банке; это случай обыкновенной индукции, но тока проходить не будет. Если лед растопить, то индукция до некоторой степени упадет, так как теперь ток проходить может, но прохождение тока обусловлено *особым расположением молекул* в частицах, допускающим перенос элементов электролита в противоположных направлениях; при этом степень разряда и количество выделяющихся элементов точно пропорциональны одна другому (377, 783). Безразлично, как мы будем производить зарядку металлических обкладок: посредством мощной электрической машины, сильной и большой гальванической батареи или одной пары пластин; это не меняет самого принципа действия, а влияет лишь на степень его проявления (360). Обыкновенная индукция имеет место всегда, если электролит твердый; если же он жидкий, то возникают химическое действие и разложение, если только нет препятствующих им действий; а иногда бывает очень важно сравнивать таким образом известные действия в их крайних проявлениях, чтобы получить возможность уяснить себе природу слабой стадии какого-либо действия, которое делается достаточно заметным для нас только в более сильной своей стадии (451). Поэтому, поскольку *индукция* является, повиди-

мому, *первой* ступенью в электролитическом действии, а *разложение* — *второй* (возможность разделения этих ступеней путем сообщения электролиту твердого или жидкого состояния, находится в наших руках), поскольку природа этой индукции та же, как той, которая производится любым из обычных способов в воздухе, стекле, воске и т. п., и поскольку, наконец, все явление в электролите представляет собой, повидимому, действие частиц, приведенных в особое или поляризованное состояние, то я естественно пришел к заключению, что обыкновенная индукция сама представляет собой во всех случаях *действие смежных частиц*,¹ и что электрическое действие на расстоянии (т. е. обыкновенное индуктивное действие) происходит не иначе, как через посредство промежуточного вещества.

1165. Уважение, которое я питаю к именам Эпинуса (Epinus), Кэвэндиша, Пуассона (Poisson) и других выдающихся людей, которые, как мне кажется, все в своих теориях индукцию рассматривают, как действие на расстоянии и притом по прямым линиям, долгое время мешало мне принять только что изложенное мнение. Правда, я всегда искал возможности, чтобы доказать правильность противоположного мнения, и время от времени ставил такие опыты, которые, казалось мне, должны были попасть в цель; таково, например, исследование твердых и жидких электролитов, находящихся под действием индукции, с помощью поляризованного света (951, 955); но лишь с недавних пор, и не сразу, чрезвычайная общность вопроса побудила меня к дальнейшему расширению моих опытов и опубликованию моих взглядов. В настоящее время я полагаю, что обычная индукция во всех случаях представляет собой действие смежных частиц, заключающееся в некоторого рода полярности,

¹ Слово *смежный* (contiguous), пожалуй, является не самым лучшим из тех, которые были бы пригодны здесь и в других местах, ибо оно не совсем точно, поскольку частицы не касаются друг друга. Я вынужден был употребить его, так как оно является общепринятым и давало мне возможность ясно и легко изложить теорию. Под смежными частицами я понимаю те, которые являются ближайшими. Дек. 1838 г.

а не является действием частиц или масс на значительные расстояния. Если же это справедливо, то установление истины такого рода должно чрезвычайно сильно сказаться на наших дальнейших успехах в исследовании природы электрических сил. Тесная связь между электрической индукцией и химическим разложением, между гальваническим возбуждением и химическим действием, перенос элементов в электролите; первопричина возбуждения во всех случаях, природа и отношение между проводимостью и изолирующим действием, между прямым и поперечным или боковым действием (а в этом и заключается электричество и магнетизм), множество других более или менее непонятных в настоящее время фактов — все испытало бы влияние новых взглядов и, может быть, получило бы полное объяснение, так как было бы приведено к одному общему закону.

1166. Я искал решающего подтверждения своего взгляда не только в его согласии с известными фактами, но и в тех следствиях, которые должны проистекать из него, если он справедлив, и особенно в таких следствиях, которые не согласуются с теорией действия на расстоянии. Мне казалось, что таким следствием является то направление, в котором может происходить индуктивное действие. Если оно происходит только по прямым линиям, то это, хотя и не решающим образом, но говорило бы против моего взгляда, а если и по кривым, то это было бы естественным следствием действия смежных частиц, но было бы совершенно несовместимо, по моему мнению, с принятым в существующих теориях действием на расстоянии, которое, согласно всем известным нам фактам и аналогиям, направлено всегда по прямым линиям.

1167. Далее, если индукция представляет собой действие смежных частиц, а также является первой фазой в процессе электролиза (1164, 949), то, казалось, имеется основание ожидать, что ее отношение к различным видам вещества, через которое она действует, будет различно, и что будет существовать нечто в роде *удельной электрической индукции* для различных тел; существование такой специфической величины неоспоримо доказывало бы зависимость индукции от частиц; и хотя

в теориях Пуассона и других никакого подобного предположения не делается, я скоро усомнился в общепринятом взгляде и приложил много труда к тому, чтобы подвергнуть этот вопрос точному экспериментальному изучению.

1168. Другой неустанно меня занимавший вопрос заключался в том, имеет ли электричество реальное и независимое существование в виде жидкости или жидкостей, или же оно представляет собой лишь свойство материи, подобное тому, каким мы считаем тяготение. Если бы удалось выяснить этот вопрос в ту или иную сторону, то это было бы огромным шагом вперед в настоящем познании природы, а так как это имеет прямое и существенное значение для моих представлений, то я всегда искал опытов, которые бы могли послужить для выяснения этого важного вопроса. Я делал много попыток доказать раздельное от материи существование электричества, пробуя сообщать какому-либо одному веществу независимый и только положительный или только отрицательный заряд. Все подобные попытки потерпели полную неудачу, какое я ни брал вещество и каким способом возбуждения или выделения электричества я ни пользовался. Вот эти неудачи и побудили меня рассматривать индукцию как действие частиц вещества, обладающих каждая *обеими* силами, присутствующими в совершенно равных количествах. По этим и другим причинам мне кажется желательным поставить замечания об абсолютном заряде материи первыми в ряду доказательств и рассуждений, которые я собираюсь привести в пользу моей точки зрения, что электрическая индукция есть действие смежных частиц изолирующей среды, или диэлектрика.¹

ГЛАВА II

Об абсолютном заряде материи

1169. Можно ли проводящее или непроводящее вещество зарядить явно или неявно, в какой то бы ни было степени, одной электрической силой, без участия другой?

¹ Словом *диэлектрик* я пользуюсь для обозначения вещества, при посредстве или через которое действуют электрические силы. Дек.; 1838 г;

1170. Прекрасные опыты Кулона (Coulomb) относительно равенства действия *проводников*, независимо от их вещества, а также распределение *всего* электричества на их поверхности¹ при надлежащем рассмотрении в достаточной мере доказывают, что *проводники нельзя зарядить* в объеме; до сих пор не обнаружено способа сообщать электричество проводнику таким образом, чтобы связать его частицы с одним электричеством, не связывая их одновременно с точно таким же количеством другого.

1171. Что касается электриков (electrics), или непроводников, то выводы сначала не представляются такими ясными. Их легко можно наэлектризовать в объеме либо прикосновением (1247), либо возбуждением; но когда они так заряжены один за другим, все случаи по рассмотрению оказывались случаями индукции, а не сообщением абсолютного заряда. Так, стекло внутри проводников, не соприкасающееся с проводником, можно было приводить в возбужденное состояние, но всегда оказывалось, что часть внутренней поверхности проводника находилась в противоположном и эквивалентном состоянии или же что в равно противоположном состоянии находилось другое место самого стекла, т. е. что последнее приобрело *индуктивный* заряд, а не *абсолютный*.

1172. Хорошо очищенный скипидар, который для большинства целей я считаю прекрасным жидким изолятором, был налит в металлический сосуд и изолирован, после чего была сделана попытка зарядить его частицы — иногда присоединением металла к электрической машине, а иногда погружением провода внутрь жидкости; однако, независимо от способа соединения, электричество одного только рода на жидкости не удерживалось, за исключением того, которое появлялось на внешней поверхности металла, причем это количество появлялось там только благодаря индуктивному действию через воздух на окружающие проводники. Когда скипидар был заключен в стеклянные сосуды, то сначала создавалось впечатление, как будто жидкость

¹ Mémoires de l'Académie, 1786, стр. 67, 69, 72; 1787, стр. 452.

получила от заряжающего провода абсолютный заряд электричества, однако это можно было легко свести к случаям обыкновенной индукции через жидкость, стекло и окружающий воздух одновременно.

1173. Эти опыты я продолжил с воздухом в большом масштабе. Я соорудил камеру, представляющую собой куб, ребро которого равнялось двенадцати футам. Была сколочена легкая кубическая деревянная рама, и вдоль и поперек ее, в различных направлениях, был натянут медный провод так, что стенки представляли крупную сетку; затем все это было покрыто бумагой, плотно прилежавшей к проводам и оклеенной во всех направлениях полосками станиоля, так что все части системы могли быть приведены в хорошее металлическое соединение, и вся она в каждой точке являлась хорошим проводником. Эта камера была изолирована в аудитории Королевского института; через ее стенку была пропущена стеклянная трубка длиной около шести футов, причем примерно четыре фута проходило внутри камеры, а два — снаружи, а через эту трубку к находящемуся внутри воздуху шел провод от большой электрической машины (290). Вращением машины воздух внутри камеры можно было приводить в состояние, которое назовем сильно наэлектризованным (хотя фактически это то же самое состояние, в котором находится воздух в комнате, в которой работает мощная машина), и одновременно вся внешняя поверхность изолированного куба сильно заряжалась. Но если соединить камеру с тем прекрасным разряжающим проводом, который описан в одной из предшествующих серий (292), и вращать машину таким образом, чтобы воздух внутри ее довести до его наивысшей степени заряда, и если потом быстро прервать соединение с машиной и в тот же момент или непосредственно за ним изолировать куб, то воздух внутри куба уже совершенно не мог сообщить ему дальнейшего заряда. Если какое-либо место в воздухе оказывалось наэлектризованным, как могут заряжаться стекло или другие изоляторы (1171), то это сопровождалось соответствующим противоположным действием *внутри* куба, так что действие

в целом представляло собой просто случай индукции; все попытки зарядить воздух объемно хотя бы ничтожным количеством одного электричества, но без участия другого, оканчивались неудачей.

1174. Я поместил внутри куба чувствительный электрометр с золотым листочком, а затем посредством внешнего соединения в течение некоторого времени очень сильно заряжал всю систему, но ни во время зарядки, ни после разряда ни электрометр, ни воздух внутри не обнаруживали ни малейших следов электричества. Я заряжал и разряжал всю систему различными путями, но ни в одном случае мне не удавалось получить ни малейших указаний на абсолютный заряд или на такой индуктивный заряд, при котором количество электричества одного рода хотя бы в малейшей степени превосходило количество другого. Я входил внутрь куба и оставался в нем, пользуясь зажженными свечами, электрометрами и всякими другими способами обнаружения электрического состояния, но мне не удалось обнаружить ни малейшего влияния на них или указания на проявление ими чего-либо особенного, хотя наружная поверхность куба была все время сильно заряжена, и от каждой точки его исходили искры и кистевые разряды. Заключение, к которому я пришел, сводится к тому, что непроводникам так же, как и проводникам, абсолютный и независимый заряд электричества до сих пор никогда не сообщался, и что, поскольку можно судить, такое состояние материи невозможно.

1175. Существует другой взгляд на этот вопрос, который можно принять, если полагать, что существует электрическая жидкость или жидкости. Может быть, и невозможно, чтобы существовала в свободном виде одна жидкость или состояние, и чтобы при этом путем индукции не создавалось другое, но все же возможны случаи, когда в изолированном объеме вещества, находящегося в каком-нибудь состоянии и незаряженного вследствие изменения этого состояния, выделяется то или другое электричество; и хотя образующееся таким образом электри-

чество могло бы немедленно возбудить по соседству противоположное состояние, но все же самое образование в *первый момент* одного электричества без другого представляло бы весьма существенный факт для теорий, предполагающих существование жидкости или жидкостей; в этих теориях, насколько я их понимаю, не приводится ни малейших доводов против возможности существования такого явления.

1176. Однако, несмотря на поиски, я не мог найти ни одного такого случая. Возбуждение электричества трением дает, как общеизвестно, обе силы в одинаковых количествах. Так же обстоит дело при получении электричества путем химического действия, несмотря на большое разнообразие веществ, которыми можно для этого пользоваться, и на огромное количество электричества, которое можно таким путем получить (371, 376, 861, 868, 961). Наиболее обещающие случаи изменения состояния — скажем: при испарении, при плавлении или при обратных процессах — все же дают обе формы этой силы в *равных* количествах; и такие случаи, как расщепление слюды и других кристаллов, разламывание серы и т. п., подчинены тому же самому ограничительному закону.

1177. Поэтому, поскольку позволяют судить уже проделанные опыты, представляется невозможным ни создать, ни уничтожить одну из электрических сил без равного и соответствующего изменения другой. В равной мере невозможно на опыте зарядить некоторое количество вещества одной из электрических сил без появления другой. Всякий заряд предполагает *индукцию*, так как ни в одном случае он не может быть произведен без нее; он предполагает также присутствие *обеих* форм этой силы как в момент своего появления, так и позже. Нельзя дать материи *абсолютного* заряда одной жидкостью, не существует скрытого состояния одного рода электричества. Этот результат, хотя и отрицательный, чрезвычайно важен, так как он, по всей вероятности, является следствием некоторой естественной невозможности, которая станет для нас ясной, когда мы поймем истинный характер и теорию электрической силы.

1178. Предшествующие рассуждения уже указывают на следующие выводы: вещества не могут быть заряжены абсолютно, а только относительно, по закону, тождественному с *индукцией*. Всякий заряд поддерживается индукцией. Все явления *напряжения* включают начало индукции. Всякое *возбуждение* обусловлено или непосредственно связано с индукцией. Все *токи* подразумевают предшествующее напряжение, а, значит, предшествующую индукцию. *Индукция* представляется существенным фактором как при первоначальном развитии электричества, так и при последующих электрических явлениях.

ГЛАВА III

Электрометр и индуктивный прибор, служившие для опытов

1179. Временно оставляя рассмотрение предыдущих фактов до того момента, когда их можно будет сопоставить с другими результатами, непосредственно касающимися важного вопроса о природе индукции, я опишу теперь приборы, которыми я имел случай пользоваться, а, имея в виду важность принципов, которые я стараюсь установить, это следует сделать столь ясно, чтобы не оставалось никаких сомнений в результатах.

1180. Э л е к т р о м е т р. В качестве измерительного прибора я пользовался крутильным электрометром — весами Кулона; прибор был построен в основном согласно указаниям Кулона,¹ но с некоторыми изменениями и добавлениями, которые я вкратце опишу. Нижняя часть представляла собой стеклянный цилиндр в восемь дюймов высотой и восемь дюймов в диаметре; трубка для крутильной нити имела в длину семнадцать дюймов. Сама закручиваемая нить была не металлическая, а стеклянная, согласно прекрасной идее покойного д-ра Ритчи.² Она была длиной в двадцать дюймов и настолько тонка, что в соединении с шеллаковым коромыслом и прикрепленным к нему шариком и т. п. совершала примерно десять колебаний в минуту. Даже при за-

¹ Mémoires de l'Académie, 1785, стр. 570.

² Philosophical Transactions, 1830.

кручивании на четыре полных оборота, или на 1440° , нить по освобождении возвращалась точно в свое положение; вероятно, она могла бы без ущерба выдержать и больше этого. Отталкиваемый шарик, 0,3 дюйма в диаметре, был сделан из бузиновой сердцевины и позолочен. Поддерживающий его горизонтальный стержень [коромысло] был, согласно указанию Кулона, из шеллака, причем плечо с шариком имело в длину 2,4 дюйма, а другое — всего 1,2 дюйма; к последнему была прикреплена лопасть, которая также описана Кулоном. Как мною найдено, она изумительно хорошо отвечает своему назначению быстро гасить колебания. Чтобы индуктивное действие было однородно при любом положении отталкиваемого шарика и при любом состоянии прибора, на внутренней стороне стеклянного цилиндра были укреплены две станиолевые полоски шириной около дюйма каждая; они опоясывали цилиндр на расстоянии 0,4 дюйма друг от друга и на такой высоте, что промежуточная свободная поверхность находилась в одной горизонтальной плоскости с рычажком и шариком. Эти полоски были соединены друг с другом и с землей; так как они являются отличными проводниками, то влияние, которое они производили на находящиеся внутри наэлектризованные шарики, было всегда однородно; мною было обнаружено, что это не соблюдалось при стеклянной поверхности вследствие непостоянства условий в различные моменты времени. Для поддержания воздуха внутри электрометра в неизменном в смысле сухости состоянии внутрь прибора, на дно ставилось стеклянное блюдечко таких размеров, что оно легко входило внутрь цилиндра; блюдечко содержало слой плавленного едкого кали и было покрыто кружком тонкой металлической сетки, чтобы сделать его индуктивное действие однородным во всех его точках.

1181. Подвижной шарик, при помощи которого снималась и измерялась рассматриваемая порция электричества и который можно назвать *отталкивающим или шариком-передатчиком*, был сделан из мягкого губчатого вещества ольхи, хорошо и гладко позолочен. Шарик был прикреплен к тонкому

стерженьку из шеллака и вводился внутрь электрометра через отверстие по методу Кулона; верхним своим концом стержень был укреплен на болванке или на тисочках, стоящих на трех коротких ножках; на поверхности стеклянной крышки имелась свинцовая пластина с упорами, так что когда шарик-передатчик был установлен в правильном положении и тисочки наверху были вплотную прижаты к упорам, то было совсем легко удалить шарик-передатчик и установить его потом с большой точностью в прежнем его положении безо всякой потери времени.

1182. В отношении этих шариков необходимо соблюдать некоторые предосторожности. Если они сделаны из одной только сердцевины, то они оказываются негодными, так как в очень сухом состоянии это вещество является настолько плохим проводником, что никогда не воспринимает и не отдает заряда с легкостью, и поэтому после соприкосновения с заряженным проводником его состояние может оказаться неопределенным. Кроме того, трудно обточить древесную сердцевину так ровно, чтобы шарик, даже если он позолочен, был настолько свободным от неправильностей формы, что мог бы в течение значительного промежутка времени сохранять свой заряд неослабленным. Поэтому, когда шарики окончательно приготовлены и позолочены, их следует проверить, и если только они, будучи наэлектризованы, не могут удерживать свой заряд без заметных потерь в течение продолжительного времени и не могут мгновенно и полностью разряжаться при соприкосновении с изолированным проводником, то они должны быть признаны негодными.

1183. Может быть, нет необходимости касаться градуировки прибора и следует только пояснить, как производились наблюдения. На бумажном круге или кольце, укрепленном на внешней поверхности стеклянного цилиндра и покрывавшем внутреннее нижнее кольцо из станиоля, было намечено четыре точки, соответствующие углам в 90° ; еще четыре точки, точно соответствующие этим, были нанесены изнутри на верхнем станиолевом кольце. С помощью их и установочных винтов, на которых стоит весь прибор, стеклянную закручиваемую нить можно было при-

вести точно в центр прибора и нанесенных на нем делений. Начиная от одной из четырех меток на внешней поверхности цилиндра, шла шкала на 90° , и соответствующие деления были нанесены на верхней станиолевой полосе, с противоположной стороны цилиндра изнутри; на отталкиваемом шарике, в той точке его поверхности, которая находилась ближе всего к стенке электрометра, нанесена метка. Наблюдая линию, образуемую этой меткой с делениями двух уже упомянутых шкал, легко можно было точно определить положение шарика. Верхний конец стеклянной нити был, как и в оригинальном электрометре Кулона, прикреплен к указателю с особым градуированным лимбом, по которому производился, в конце концов, отсчет степени закручивания нити.

1184. После нивеллировки прибора и установки закручиваемой нити, упоры, которые определяют положение *шарика-передатчика* (1181), должны быть отрегулированы таким образом, чтобы, когда этот шарик стоит против них, его центр лежал на радиусе прибора, соответствующем 0° по нижней шкале, т. е. той, которая находится на стенке электрометра и на том же уровне и расстоянии от центра, как и *отталкиваемый шарик* на подвешенном крутильном коромысле. Затем указатель кручения следует поворачивать до тех пор, пока связанный с ним отталкиваемый шарик установится точно на 30° , и, наконец, шкалу кручения надо установить так, чтобы 0° ее находился против указателя. Такая установка прибора была принята потому, что она давала наиболее прямое выражение результатов опыта, и притом в форме, дающей меньше всего переменных ошибок; угловое расстояние в 30° оставлялось всегда как стандартное, и к нему шарики приводились каждый раз; полное закручивание отсчитывалось непосредственно на верхнем градуированном лимбе. При таких условиях всякий раз, когда производилось измерение, не только угловое расстояние между шариками, но и положение их в приборе и по отношению ко всем его точкам оставалось действительно одинаковым; таким образом удавалось избежать всяких неправильностей, возникающих

в связи с незначительным различием в форме и действии в приборе и окружающих телах. Единственное изменение, которое могло возникать в положении какой-либо внутренней части прибора, состояло в большем или меньшем отклонении закручиваемой нити от вертикального положения, в соответствии с величиной силы отталкивания шариков; однако это отклонение было чрезвычайно ничтожно; оно не вызывало вредного изменения симметрии формы прибора и не давало ошибки в величине силы кручения, указываемой на верхней шкале.

1185. Я принял постоянное угловое смещение между центрами шариков в 30° ; оно оказалось при этом более чем достаточной чувствительности для обычных целей; однако имелась полная возможность без труда сделать прибор еще гораздо чувствительнее путем уменьшения этого расстояния; результаты, соответствующие различным расстояниям, можно очень легко сравнить друг с другом путем опыта и даже путем расчета, так как они обратно пропорциональны квадратам расстояний.

1186. Чтобы освоиться с крутильным электрометром — весами Кулона, необходим опыт; но я считаю его весьма ценным прибором в руках того, кто решится на труд изучить путем упражнения и внимательного отношения необходимые при пользовании им предосторожности. Условия изоляции прибора меняются в зависимости от обстоятельств и должны быть проверены перед пользованием прибором для опытов. Обычно заряд шариков был таков, что давал при стандартном расстоянии в 30° отталкивательную силу кручения в 400° ; тогда при более или менее благоприятных обстоятельствах для уменьшения кручения до 50° при том же расстоянии требовалось почти четыре часа; среднее уменьшение в пределах от 400 до 300° происходило со скоростью 2.7° в минуту, от 300 до 200° — со скоростью 1.7° в минуту, от 200 до 100° — 1.3° в минуту и от 100 до 50° — 1.87° в минуту. Так как точное измерение с помощью этого прибора можно произвести меньше чем за одну минуту, то величина утечки за этот промежуток времени очень мала и может быть легко учтена,

1187. Индуктивный прибор. Я ставил себе целью тщательно изучить индуктивное действие в различных средах; для этого было необходимо, чтобы условия, при которых эти среды подвергаются действию индукции, были совершенно одинаковы, и чтобы их количество было достаточно для исключения всяких изменений, которые они могли бы дать. Поэтому было необходимо, чтобы прибор, который надо было построить, обладал следующими свойствами: индуцирующие поверхности проводников должны иметь постоянную форму и положение; они должны находиться на постоянном расстоянии друг от друга; всякие вещества твердые, жидкие и газообразные должны легко и без отказа вводиться между этими поверхностями и удерживаться между ними в течение любого промежутка времени.

1188. Прибор, которым я пользовался, в общих чертах состоял из двух металлических шаров неодинакового диаметра, расположенных концентрически так, что меньший находился внутри большего; промежуток между шарами представлял собой то пространство, через которое должна была проходить индукция. Разрез прибора дан (рис. 109) в половину натуральной величины; *aa* представляют собой две половины латунного шара с герметическим соединением по *b*, наподобие соединения в магдебургских полушариях; во избежание всякой неправильности, полушария сделаны внутри совершенно ровными и гладкими; *c* — соединительная часть, с помощью которой прибор соединен с хорошим краном *d*, который, в свою очередь, соединяется либо с металлическим основанием *e*, либо с воздушным насосом. Отверстие *f*, ведущее внутрь в полушарие, очень мало; *g* представляет собой прикрепленную к верхнему полушарию латунную втулку, через которую проходит шеллаковый стержень, поддерживающий внутренний шар и его ось; *h* — внутренний шар, также латунный; он привинчен к латунному стержню *i*, заканчивающемуся наверху латунным шаром *B*; *ll* — слой шеллака, который аккуратно наложен кругом стержня *i*, и служит для поддержки и изоляции его и шаров *h* и *B*. Шеллаковый стержень *l* у *m* *m* вмазан в цоколь *g* небольшим количеством обыкновенной

смоляной замазки, более плавкой, чем шеллак, чтобы придать прибору достаточную крепость и сделать его в этом месте воздухонепроницаемым, оставляя в то же время возможно большую часть шеллакового стержня книзу нетронутой, как изоляцию между шаром *h* и окружающим его шаром *a*. Шар *h* имеет в *n* небольшое отверстие, так что, когда из прибора выкачивают один газ, а вводят другой, то и шар *h* также откачивается и наполняется, так что во время опыта никаких изменений газа в промежутке *o* произойти не может.

1189. Нет необходимости приводить размеры всех частей прибора, ибо чертеж дан в половину натуральной величины; внутренний шар имеет диаметр в 2,33 дюйма, а внутренний диаметр внешнего шара равен 3,57 дюйма. Сле-

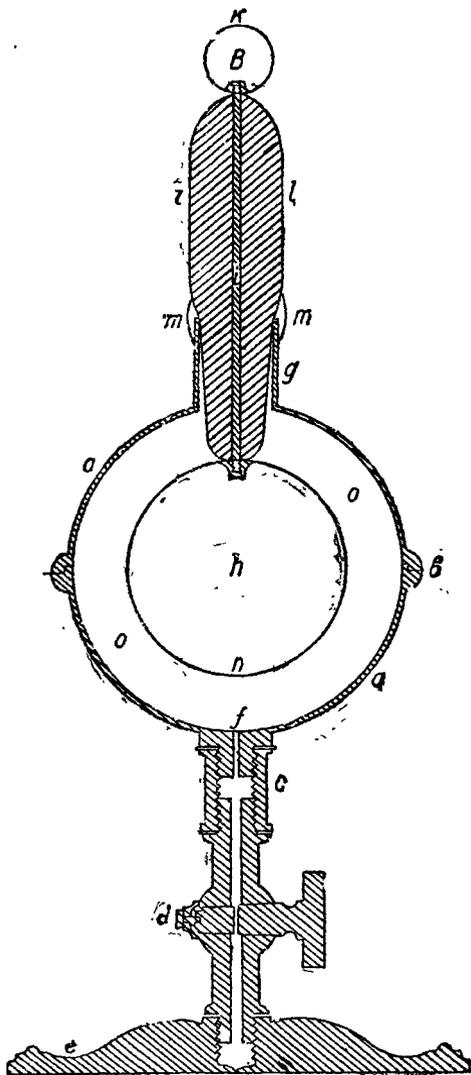


Рис. 109.

довательно, промежуточное пространство, в котором должна производиться индукция, имеет в толщину 0,62 дюйма, а про-

тяженность его, или площадь некоторого среднего шара, можно принять равной двадцати семи квадратным дюймам, что я считал достаточным для сравнения различных веществ. Много стараний было приложено для хорошего выполнения индуцирующих

поверхностей шаров h и aa ; лаком и политурой я не пользовался ни для шаров, ни для какой другой металлической части прибора.

1190. Большого внимания требовали укрепление и установка стержня из шеллака, особенно потому, что из-за появляющихся в нем трещин его часто приходилось менять. Брался шеллак наилучшего качества и наносился на провод i таким образом, чтобы он везде был с ним в хорошем контакте и по всей своей массе не имел никаких перерывов. Слой шеллака был не тоньше, чем дано масштабом рисунка, ибо при меньшей толщине он часто трескался спустя несколько часов после застывания. Мне кажется, что очень медленное охлаждение или отпускание улучшали его

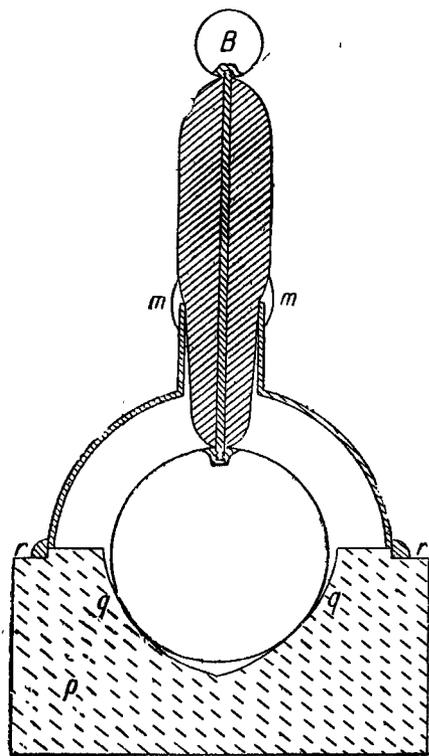


Рис. 110.

качество в этом отношении. Втулка g делалась по возможности тоньше, чтобы в этом месте можно было нанести возможно большую толщину шеллака. Чтобы при всяком новом укреплении стержня в верхнем полушарии, шар h занимал одно и то же относительное положение, был изготовлен деревянный шаблон p (рис. 110), в который вставлялись шар и полушарие, пока замазка

у *т* была еще мягкая; точки опоры шара в *qq* и полушария в *ll* придавливались к ней, и все оставлялось для охлаждения. Этим устранялись все затруднения при установке шара внутри сферы.

1191. Вначале мне случалось прикреплять стержень к цоколю другими способами, как, например, с помощью бумажной ленты или пробки из белых шелковых нитей, но эти способы значительно уступали замазке, так как сильно понижали изолирующие свойства прибора.

1192. В хорошем состоянии прибор этот держал заряд лучше, чем электрометр (1186), т. е. утечка электричества была сравнительно меньше. Возьмем для примера случай, когда прибор, а равно и шарики электрометра были наэлектризованы до такой степени, что после того, как внутренний шар приводился в соприкосновение с верхушкой *k* шарика прибора, это вызывало отталкивание, соответствующее закручиванию на 600° ; тогда при падении показаний от 600 до 400° утечка в среднем была равна $8,6^\circ$ в минуту; от 400 до 300° утечка в среднем была равна $2,6^\circ$ в минуту, от 300 до 200° она равнялась $1,7^\circ$ в минуту, от 200 до 170° — 1° в минуту. Это имело место после того, как прибор в течение некоторого короткого времени стоял заряженным; в первый момент зарядки происходит кажущаяся утечка электричества, которую можно будет понять только в дальнейшем (1207, 1250).

1193. Когда прибор внезапно утрачивает свои изолирующие свойства, то это почти всегда является результатом трещины вблизи латунного цоколя или внутри его. Эти трещины обычно проходят поперек стержня. Когда они возникают в части, прикрепленной к цоколю обыкновенной замазкой, то воздух не может проникнуть в них, а образовавшиеся таким образом пустоты отводят электричество и понижают заряд почти так же быстро, как если бы в это место был введен кусок металла. Иногда стержни в таком состоянии, вынутые и очищенные от замазки, могут быть тщательным нагреванием на спиртовой лампе настолько сильно размягчены и расплавлены, что восстанавливается полная непрерывность строения их частей; если же не удастся таким

образом вернуть прибор в хорошее состояние, то единственное средство — заменить шеллаковый стержень новым.

1194. Когда прибор был в полном порядке, его легко можно было откачать и наполнить любым газом; но когда данный газ обладал кислотными или же щелочными свойствами, то его не удавалось удалить как следует при помощи воздушного насоса, а, между тем, требовалось полное удаление его. В таких случаях прибор открывался и очищался от газа; что же касается внутреннего шара h , то он два или три раза промывался дистиллированной водой, вводимой через отверстие для винта, а затем для полной просушки внутренней поверхности нагревался выше 212° с продуванием через него воздуха.

1195. Описанный индуктивный прибор представляет собой, очевидно, лейденскую банку, с тем, однако, преимуществом, что *диэлектрик* или изолирующую среду в нем можно менять по произволу. Шары h и B с соединительным проводом i образуют заряженный проводник, на поверхности которого вследствие индукции (1178) сосредоточена вся электрическая сила. Но хотя большая часть этой индукции и заключается между шаром h и окружающим его шаром aa , тем не менее, провод i и шарик b заставляют часть индукции итти от своих поверхностей по направлению к наружным окружающим проводникам. Но в этом отношении все остается неизменным, тогда как промежуточную среду в oo можно менять; поэтому всякие изменения, обнаруживаемые прибором в целом, будут в таких случаях обусловлены изменениями, произведенными внутри; именно эти изменения я и изучал; опровержение или подтверждение таких различий составляло главный предмет моего исследования. Я считал, что различия, если таковые существуют, можно наиболее отчетливо выявить с двумя приборами описанного типа, в точности одинаковыми во всех отношениях; для этого, при наличии внутри приборов *различных изолирующих сред*, нужно одному из них сообщить заряд и измерить его, а затем разделить заряд между обоими и наблюдать, каково окончательное состояние обоих приборов. Я полагал, что если изолирующие среды

действительно обладают какими-либо особыми различиями, благоприятствующими или противодействующими совершающемуся сквозь них индуктивному действию, то с помощью такого процесса эти различия не преминут обнаружиться.

1196. Я заканчиваю на этом описание прибора; укажу теперь предосторожности, необходимые при пользовании им; для этого я остановлюсь на характере и порядке опытов, произведенных для доказательства одинаковости приборов в том случае, когда оба они содержат обыкновенный воздух. Чтобы облегчить изложение, я буду обозначать эти два прибора: прибор I и прибор II.

1197. Прежде всего следует произвести установку и проверку электрометра (1184), а приборы I и II тщательно разрядить. Затем следует взять лейденскую банку и зарядить ее так, чтобы она давала между двумя шариками диаметром в полдюйма искру длиной приблизительно в одну шестнадцатую или одну двадцатую дюйма, заряженный от этой банки шарик-передатчик электрометра ввести внутрь последнего, а сидящий на коромысле шарик вращением указателя подвести к шарик-передатчику; тогда заряд разделяется между двумя шариками, и происходит отталкивание. После этого полезно привести отталкиваемый шарик вращением указателя кручения к стандартному положению, соответствующему 30° , и заметить требующуюся для этого силу в градусах; в дальнейших опытах эта сила будет называться *отталкиванием шариков*.

1198. Затем один из индуктивных приборов, например прибор I, следует зарядить от лейденской банки, находящейся в том же состоянии, как при заряде шариков; шариком-передатчиком надо коснуться верхушки верхнего шарика (k , рис. 109), внести его в электрометр и измерить силу отталкивания, соответствующую расстоянию в 30° . Затем шарик-передатчик надо снова приложить к прибору I и повторить измерение. Теперь надо соединить приборы I и II, чтобы *разделить* между ними заряд, и потом произвести измерение силы для каждого из них, как указано выше, с помощью шарика-передатчика и тщательно записать результаты. После этого оба прибора следует раз-

рядить, затем зарядить прибор II, произвести измерение, разделить заряд с прибором I и снова измерить и записать силу для каждого. Если в обоих случаях части зарядов, приходящиеся на приборы I и II, одинаковы, а в сумме равны полному заряду до его разделения, то можно считать доказанным, что оба прибора вполне одинаковы по силе и годятся для производства сравнений между различными изолирующими средами или *диэлектриками*.

1199. Однако для получения правильных результатов необходимы многочисленные предосторожности. Приборы I и II должны всегда стоять на хорошо проводящем веществе. Стол красного дерева, например, далеко не удовлетворяет этому условию, и поэтому я пользовался листом станиоля, соединенным с разрядным проводом больших размеров (292). Приборы должно поставить так, чтобы они находились не слишком близко друг к другу и в то же время в одинаковой мере подвергались индуктивному влиянию окружающих предметов; в свою очередь, эти предметы нельзя перемещать во время опыта, иначе индукция на внешний шарик *B* прибора может претерпеть изменения, вследствие чего в результаты вкрадутся ошибки. Шарик-передатчик для сообщения ему соответствующей порции электричества от прибора необходимо прикладывать всегда к одному и тому же месту шара, например к верхушке *k*, и всегда одинаковым образом; следует избегать изменений индукции вследствие близости головы, рук и т. п.; после касания шарик уводится вверх однообразным и постоянным образом.

1200. Так как иногда приходилось заменять стержень (1190), что могло вызвать незначительные смещения внутреннего шара, то я намеренно вызывал такие смещения, доходящие до величины одной восьмой дюйма (что значительно превосходит все, что могло бы иметь место в действительности), но не нашел, чтобы это заметно изменило действие прибора или его индуктивное состояние в *целом*. Другое испытание приборов касалось действия влажности воздуха; при этом один прибор был наполнен очень сухим воздухом, а другой — воздухом, бывшим над водой.

Хотя это и не вызывало изменений в результатах, за исключением наблюдавшегося иногда более быстрого рассеяния, тем не менее, при работе с газами всегда принимались меры к полной их осушке (1290).

1201. Существенно, чтобы внутренность прибора была совершенно свободна от пыли или мелких свободных частиц, которые очень быстро понижают заряд и сказываются в таких случаях, когда их присутствия и действия вряд ли можно было ожидать. Хороший способ для их удаления состоит в том, чтобы дохнуть внутрь прибора и осторожно протереть его чистым шелковым платком; но следует остерегаться проникновения посторонних частиц впоследствии, и в силу этой и других причин следует избегать пыльной атмосферы.

1202. Шеллаковый стержень необходимо тщательно протирать, чтобы снять прежде всего имеющуюся на нем пленку воска и прилипшего вещества, а потом удалять пыль и грязь, которые постепенно прилипают к нему во время опытов. Я нашел, что от этой предосторожности зависит многое, и что для протирания лучше всего пользоваться шелковым платком.

1203. Однако при протирании и некоторых других обстоятельствах поверхности шеллакового стержня может сообщиться заряд. Последний следует удалить, ибо если его оставить, он очень сильно влияет на степень заряда, сообщаемую прибором шарикопередатчику (1232). Электрическое состояние стержня лучше всего наблюдать следующим образом: разрядить прибор, приложить к стержню шарик-передатчик, коснуться его пальцем, изолировать и отвести шарик и посмотреть, получил ли он от стержня (путем индукции) какой-либо заряд; если получил, то значит и сам стержень находится в заряженном состоянии. Я убедился, что наилучший способ удалить этот заряд заключается в том, чтобы обернуть палец одним слоем шелкового платка и, дохнув на стержень, немедленно после этого протереть его пальцем; шарик *B* и его соединительный провод и т. п. остаются в это время неизолрованными; то место шелка, которым протирают, менять не следует; тогда оно становится достаточно влажным и

не возбуждает стержня; в то же время оно достаточно сухо, чтобы очистить стержень и привести его в хорошее изолированное состояние. Если в воздухе содержится пыль, то уже после одной зарядки прибора наружная поверхность стержня оказывается в наэлектризованном состоянии вследствие способности частиц пыли переносить электрический заряд; между тем как по утрам и в помещении, которым еще никто не пользовался, можно произвести один за другим несколько опытов, и стержень при этом не приобретает ни малейшего заряда.

1204. Не следует производить опытов при свече или с лампой, разве только с большой осторожностью, ибо пламя обладает значительной, и притом непостоянной способностью влиять на заряд и рассеивать его.

1205. Последнее замечание относительно состояния приборов будет заключаться в том, что оба они должны хорошо и равномерно удерживать свои заряды, и притом в одинаковой степени; в то же время они должны мгновенно и совершенно разряжаться и уже не сообщать после этого шарик-передатчику никакого заряда, к какой бы части шарика *B* последний ни прикладываться (1218).

1206. Что касается крутильного электрометра-весов, то все предосторожности, которые заслуживают упоминания, сводятся к тому, что в продолжение первой части опыта шарик-передатчик должен сохранять свое наэлектризованное состояние, т. е. следует избегать потери электричества, являющейся следствием его разряда; при введении его внутрь электрометра через отверстие в верхней стеклянной пластинке должно принять меры, чтобы шарик не касался края стекла и даже не подходил к нему близко.

1207. Когда полный заряд одного прибора делится между двумя, то постепенное ослабление его, повидимому, вследствие рассеивания в том приборе, который *получал* половинный заряд, оказывается более значительным, чем в том, который был заряжен первым. Это обуславливается особым явлением, которое будет описано в дальнейшем (1250, 1251); от его вредного влияния

можно в значительной степени избавиться, если однообразно и быстро проходить через все стадии процесса. Поэтому после измерения первоначального заряда, например с помощью прибора I, I и II следует симметрично соединить с помощью их шариков B, причем одного из этих шариков одновременно следует коснуться шариком-передатчиком; сначала необходимо увести последний и только потом разъединить приборы; первым с помощью шарика-передатчика быстро измерить заряд прибора II, затем прибора I; наконец, надо разрядить II и приложить к нему разряженный шарик-передатчик, чтобы удостовериться, нет ли какого-либо остаточного действия (1205); и таким же образом и с той же целью надо исследовать прибор I, предварительно разрядив его.

1208. Я приведу пример деления разряда между двумя приборами, когда диэлектриком в обоих был воздух. Наблюдения приведены одно за другим в том порядке, в каком они производились; числа с левой стороны соответствуют наблюдениям с прибором I, числа с правой стороны получены с прибором II. Прибор I был заряжен первым; его заряд после двукратного измерения был разделен между обоими приборами

Прибор I	Шарики 160°	Прибор II
	0°
254°	
250°	
заряды разделены и сейчас же измерены		
	122°
124°	
1°	2°
	после разряда после разряда

1209. Не делая попытки учесть утечку, которая должна была постепенно происходить за время опыта, сделаем выводы из чисел, каковы они есть. Так как в приборе I в неразряженном состоянии оставался 1°, то величину 249° можно принять за наи-

большее значение передаваемого и делимого заряда, половина которого равна $124,5^\circ$. Поскольку в первом случае прибор II был свободен от заряда, а непосредственно после разделения показывал 122° , то по меньшей мере это количество может быть принято за полученное прибором. С другой стороны, разность 124° минус 1° , т. е. 123° , можно принять за половину передаваемого заряда, удерживаемого прибором I. Но эти числа (122 и 123°) сравнительно мало отличаются друг от друга и от $124,5^\circ$, т. е. от половины полной величины способного передаваться заряда; а если учесть постепенную утечку заряда, о которой свидетельствует разница между числами 254 и 250° в приборе I, то можно с полным правом положить, что эти результаты указывают на разделение заряда пополам, без всякого исчезновения силы, за исключением того, которое объясняется рассеянием.

1210. Я приведу результат еще одного опыта, когда первым был заряжен прибор II, и где остаточное действие этого прибора было более значительно, чем в первом случае.

Прибор I	Прибор II	
Шарики 150°		
.....	152°	
.....	148°	
Заряд разделен и тотчас же измерен		
70°		
.....	78°	
.....	5°	непосредственно после разряда
0°		непосредственно после разряда

1211. Передаваемый заряд соответствует $148-5^\circ$, половина чего составляет $71,5^\circ$, что лишь мало отличается от 70° , т. е. от половины заряда прибора I, и от 73° — половины заряда прибора II; в свою очередь, эти две половины дают в сумме 143° , т. е. ровно величину всего передаваемого заряда. Следовательно, учитывая ошибки опыта, можно снова принять, что эти результаты доказывают равенство индуктивной способности приборов или их способности принимать заряды.

1212. Повторение этих опытов с зарядами отрицательного электричества дало в общем такие же результаты.

1213. Чтобы быть уверенным в чувствительности и работе приборов, я вводил в один из них такое изменение, которое теоретически должно было повысить его индуктивную силу, а именно: я выложил нижнее полушарие прибора I изнутри металлической обкладкой, уменьшив этим толщину промежуточного слоя воздуха в данном месте от 0,62 до 0,435 дюйма; эта прокладка была тщательно вырезана и сглажена, чтобы она у краев не образовала резких выступов, и чтобы имел место постепенный переход от уменьшенного промежутка в нижней части шара к более толстому в верхней части.

1214. Вследствие этих изменений в приборе I немедленно получились такие явления, которые показывали, что он обладал более значительной приспособленностью или способностью к индукции, чем прибор II. Так, когда передаваемый заряд в приборе II, величиной 469° , был поделен между обоими приборами, то первый сохранил заряд в 225° , а второй показал 227° , т. е. первый потерял 244° , сообщая второму 227° ; с другой стороны, когда передаваемый заряд прибора I, равный 381° , был путем соприкосновения разделен между обоими приборами, то I сообщил второму целых 194° , потеряв всего 181° ; сумма этих разделенных сил в первом случае *меньше*, а во втором — *больше* первоначального неразделенного заряда. Эти результаты тем более поразительны, что видоизменена была только половина внутренней части прибора I; они показывают, что приборы способны при наличии ошибок опыта выявить различия в индуктивной силе даже тогда, когда эти различия гораздо меньше тех, которые происходили от сделанных в настоящем примере изменений.

ГЛАВА IV

Индукция по кривым линиям

1215. Выводы, вытекающие из представления об индукции (1166) как о молекулярном явлении, в силу особого своего характера представляют собой самую лучшую проверку справедливости

ности или ошибочности этой теории; но наиболее важным из них в настоящий момент является, я полагаю, ожидаемое действие по кривым линиям; в самом деле, если бесспорным образом доказать, что оно имеет место, то я не представляю себе, как может оставаться в силе старая теория действия на расстоянии по прямым линиям, и как можно будет противиться заключению, что обычная индукция есть действие смежных частиц.

1216. Имеется большое число более ранних опытов разнообразного характера, которые можно бы считать благоприятными для принятого мной представления и согласными с ним. Таково большинство случаев электрохимических разложений, электрических кистевых разрядов, свечения, искр и т. п.; но так как эти доказательства можно считать сомнительными, поскольку эти явления включают в себя ток и разряд, хотя я их давно считал указаниями на предварительное молекулярное действие (1230), то я для первого доказательства хотел придумать такие опыты, которые не содержали бы переноса, а целиком относились к случаю чисто индуктивного действия статического электричества.

1217. С другой стороны, было важно произвести эти опыты наимпростейшим способом, работая сразу не более чем с одной изолирующей средой, или диэлектриком, чтобы различия в медленной проводимости не создавали явлений, которые ошибочно можно было бы принять за результат индукции по искривленным линиям. Нет необходимости подробно описывать все стадии исследования; я сразу приступлю к тому, как установить эти факты простейшим способом сначала в воздухе, а затем и в других изолирующих средах.

1218. На деревянной подставке был укреплен в отвесном положении сплошной шеллаковый цилиндр в 0,9 дюйма диаметром и девять дюймов длиной (рис. 111); на верхнем конце цилиндр был выдолблен в виде вогнутой чаши так, что на нем мог держаться латунный шарик или другое приспособление небольших размеров. Натрая подогретой фланелью верхнюю часть стержня, я наэлектризовал его отрицательно, а затем клал на его верхуш-

ку латунный шарик *B* диаметром в 1 дюйм; после этого я исследовал весь прибор с помощью шарика-передатчика электрометра Кулона (1180 и т. д.). Для этой цели шарики электрометра заряжались положительно приблизительно до 360° , и затем шарик-передатчик прикладывался к различным точкам шарика *B*; пока шарики соприкасались или находились близко друг к другу, они не были изолированы; затем они изолировались¹ и разъединялись, а заряд шарика-передатчика исследовался в отношении природы и силы. Шарик всегда обнаруживал положительное электричество; сила последнего в различных исследовавшихся одно за другим положениях *a*, *b*, *c*, *d* и т. д. (рис. 112 и 113) имела следующие значения:

в <i>a</i>	выше 1000°
<i>b</i>	149°
<i>c</i>	270°
<i>d</i>	512°
<i>e</i>	130°

1219. Чтобы понять всю важность этих результатов, надо сначала уяснить себе, что все заряды шарика *B* и шарика-передатчика представляют собой заряды, получающиеся по индукции, действием возбужденной поверхности шеллакового цилиндра, ибо всякое другое электричество, непосредственно сообщаемое шару *B* шеллаковым цилиндром, все равно, в первый момент или после, снималось соприкосновением с неизолированным проводником, а оставалось только электричество, зависящее от индукции; это подтверждается тем, что заряды, взятые от шарика в этом неизолированном состоянии, всегда бывают положительные, т. е. противоположны электричеству шеллака.

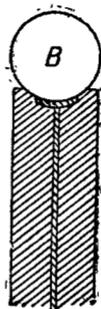


Рис. 111.

¹ Едва ли нужно здесь указывать, что всякое состояние, которое шарик-передатчик приобретал в каком-либо месте, где он был сначала не изолирован, а затем изолирован, — и это состояние он сохранял при удалении от этого места, независимо от того, что он мог проходить через другие места, которые могли бы сообщить ему, при отсутствии изоляции, отличное от первого состояние.

Далее, характер зарядов a , c и d был такой, какого следовало ожидать при индуктивном действии по прямым линиям, но для заряда в b дело обстоит иначе; этот заряд обусловлен несомненно индукцией, но индукцией по *кривой линии*, ибо шарик-передатчик, будучи приложен к B в точке b и затем уведен от него на расстояние шести дюймов или более, не мог вследствие размеров B быть соединен прямой линией ни с одной точкой возбужденной и индуцирующей поверхности шеллака.

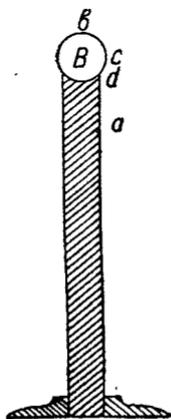


Рис. 112.

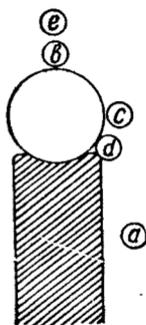


Рис. 113.

1220. Предположение, что верхняя часть неизолированного шарика B каким-то путем поддерживается в наэлектризованном состоянии той

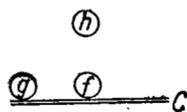
частью поверхности шарика, которая обращена к шеллаку, противоречило бы всему, что уже известно нам по данному вопросу. Электричество удерживается на поверхности проводников только путем индукции (1178); и хотя некоторые лица, может быть, еще не готовы к тому, чтобы признать это в отношении изолированных проводников, но в отношении неизо-

лированных, подобных шарiku B , они это допускают. Чтобы решить этот вопрос, достаточно поместить шарик-передатчик в e (рис. 113) так, чтобы он не соприкасался с B , заземлить его с помощью спускающегося вертикально стержня, изолировать, унести и исследовать его состояние; он окажется заряженным электричеством того же рода и даже *сильнее* (1224), чем если бы он соприкасался с верхушкой B .

1221. С другой стороны, предположение, что индукция действует каким-то образом *через или сквозь* металл шарика, опровергается простейшими рассуждениями; впрочем, один факт докажет это лучше. Если вместо шарика B взять небольшой металлический диск, то шарик-передатчик можно заряжать у сере-

дины верхней поверхности диска или над ней, но если увеличить диаметр пластинки примерно до $1\frac{1}{2}$ или 2 дюймов (см. *C* на рис. 114), то в *f* шарик не получит заряда, хотя если поместить шарик ближе к краю в точку *g* или даже над серединой в точку *h*, заряд получится; это справедливо даже в том случае, если пластинка представляет собой всего тонкую золотую фольгу. Отсюда ясно, что индукция происходит не *сквозь* металл, а через окружающий воздух или *диэлектрик*, и притом по кривым линиям.

1222. В другой моей установке к шарiku *B* (рис. 111) был присоединен провод, спускавшийся в землю через середину шеллакового цилиндра, так что шарик поддерживался все время в неизолированном состоянии. Эта форма прибора была чрезвычайно удобна; результаты были те же, как только что описанные.



1223. В другом случае шарик *B* лежал на шеллаковом стержне, не сообщавшемся с возбужденным шеллаковым цилиндром и находящемся от него на расстоянии полдюйма, но явления получались такие же. Затем для того, чтобы производить индукцию, вместо возбужденного шеллака служил медный шарик, заряженный от лейденской банки, но это не вызвало никаких изменений в явлениях. Были испытаны как положительные, так и отрицательные индуцирующие заряды с одинаковыми в основном результатами. Наконец, чтобы устранить всякие могущие быть возражения против делаемых выводов, установка была поставлена вверх ногами, но результаты оказались в точности такими же.

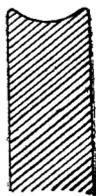


Рис. 114.

1224. Чрезвычайно интересны некоторые результаты, которые получились, когда вместо шарика *B* было взято латунное полушарие. Полушарие имело 1,36 дюйма в диаметре (рис. 115); оно было помещено на верхнем конце возбужденного шеллакового цилиндра, и затем шарик-передатчик, как и в предшествующих опытах (1218), приводился в относительные положения, изоб-

раженные на рисунке. В i сила была равна 112° , в k — 108° , в j — 65° и в m — 35° ; индуктивная сила, как и следовало ожидать, при приближении к этой точке постепенно ослабевала. Но когда шарик-передатчик был поднят в положение n , заряд возрос до 87° , а при дальнейшем поднятии шарика в точку o , заряд возрос еще сильнее, до 105° ; в еще более высокой точке p величина измеряемого заряда была меньше, а именно 98° , и продолжала убывать по направлению к более высоким точкам. Здесь индукция совершенно огибала угол. В самом деле, трудно отыскать лучшее доказательство искривления линий или путей

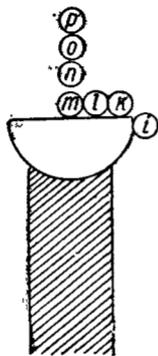


Рис. 115.

индуктивного действия в результате нарушения их прямолинейности вследствие формы, положения и состояния металлического полушария, а также существования, если так можно выразиться, бокового давления этих линий друг на друга; и то и другое обусловлено, как я полагаю, тем, что индукция представляет собой действие смежных частиц диэлектрика, которые, будучи приведены в состояние полярности и напряжения, оказываются во всех направлениях взаимно связанными своими силами.

1225. Как другое доказательство того, что все эти действия являлись индуктивными, я могу привести один результат, который представляет собой как раз то, чего можно было ожидать; а именно: если я помещал вокруг наэлектризованного шеллакового стержня и близко от него неизолированное проводящее вещество, то индуктивная сила направлялась к нему, и на верхушке полушария ее обнаружить не удавалось. По удалении этого вещества восстанавливалось прежнее направление силовых линий. Этот опыт служит доказательством бокового напряжения этих линий и предупреждает о необходимости удаления такого вещества при повторении указанного исследования.

1226. По получении этих результатов относительно криволинейного индуктивного действия в воздухе, я распространил

опыты на другие газы, взяв сначала углекислоту, а затем водород; явления получились в точности такие, как описанные. В этих опытах я нашел, что если газы были заключены в сосуды, то последние должны были быть очень большими, ибо все равно, из чего они были сделаны — из стекла или глины, проводимость этих веществ настолько велика, что индукция от возбужденного шеллакового цилиндра по направлению к ним так же сильна, как если бы это были металлы; и когда сосуды малы, на них направляется столь значительная часть индукции, что упомянутое выше боковое напряжение или взаимное отталкивание (1224) силовых линий, которое вызывает их искривление, оказывается настолько облегченным в других направлениях, что в положениях *k*, *l*, *m*, *n*, *o*, *p* (рис. 115) шарик-передатчику не сообщится никакого индуктивного заряда. Чтобы произвести опыт, очень удобно устроить сильные восходящие или нисходящие потоки газов через воздух и проводить опыты в этих потоках.

1227. Эти опыты были затем видоизменены в таком направлении, что воздух и газы были заменены жидким диэлектриком, а именно *скипидаром*. В тонкостенную стеклянную чашечку, покрытую слоем шеллака (1272), который, как показало испытание, был хорошим изолятором, до высоты в полдюйма был налит хорошо очищенный скипидар; затем чашечка была помещена на верхушку латунного полушария (см. рис. 115) и производились, как и раньше, наблюдения с помощью шарика-передатчика (1224). Результаты получились такие же, и то обстоятельство, что в некоторых положениях шарик оказывался внутри жидкости, а в других — вне ее, не вызывало существенной разницы.

1228. Наконец, для той же цели я брал несколько твердых диэлектриков и получил такие же результаты. Этими диэлектриками служили: шеллак, сера, плавленный и литой борат свинца, флинт-глас, тщательно покрытый слоем лака, и спермацет. В случае серы опыт производился следующим образом (остальные производились так же): отливалась квадратная пластина из исследуемого вещества с ребром в два дюйма и толщи-

ной в 0,6 дюйма, с небольшим отверстием или углублением по середине, куда помещался шарик-передатчик. Пластина помещалась на поверхности металлического полушария (рис. 116), расположенного на возбужденном шеллаке, так же, как и в предыдущих случаях, и наблюдения производились в точках n , o , p и q . В этих опытах требовались большие предосторожности, чтобы освободить серу и другие твердые вещества от всякого заряда, ранее ими приобретенного. С этой целью вещество протирали, предварительно подышав на него (1203), а затем, убе-

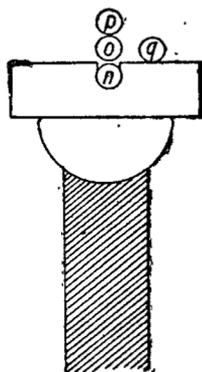


Рис. 116.

дившись, что оно свободно от всякого электрического возбуждения, приступали к опыту с ним; после этого его удаляли и исследовали снова, чтобы удостовериться, что оно не получило заряда, а действительно вело себя как диэлектрик. При соблюдении всех этих предосторожностей результаты получились прежние, и большое удовлетворение доставляет нам то, что можно получать криволинейное индуктивное действие сквозь *твердые вещества*, ибо в данном случае совершенно исключена возможность появления какого-нибудь действия, зависящего от переноса заряженных частиц, какое можно представить себе в жидкостях или газах.

1229. В этих опытах с твердыми диэлектриками степень заряда, получавшегося шариком-передатчиком в положениях n , o , p (рис. 116), была определенно выше, чем у заряда, который сообщался шарiku в тех же положениях, когда между ним и металлическим полушарием находился один воздух. Как видно будет дальше, это явление согласуется со свойствами этих тел в смысле их способности облегчать прохождение через них индукции (1269, 1273, 1277).

1230. Я мог бы привести *множество* других видоизменений опыта как старых, так и новых, в которых имеет место индукция по кривым или скругленным линиям, но после предыдущих

результатов, я полагаю, в этом нет надобности; поэтому я приведу только два. Если наэлектризовать проводник *A* (рис. 117) и поставить перед ним неизолированный металлический шар *B* или даже пластину, только чтобы края ее были не слишком тонки, то небольшой неизолированный электрометр у *c* или *d* будет указывать на присутствие электричества, противоположного по природе электричеству в *A*, и значит, причиненного индукцией, хотя влияющее и подвергаемое влиянию тела нельзя соединить прямой линией, проходящей через воздух. Еще: если удалить электрометр, а к задней стороне неизолированного шара *C* прикрепить острие, то оно будет светиться и разряжать проводник *A*. Последний опыт описан Никольсоном¹ (Nicholson), который, однако, рассуждает о нем ошибочно. Если я упоми-

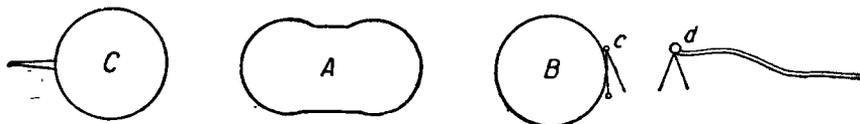


Рис. 117.

наю об этом опыте здесь, хотя он представляет собой случай разряда, то этому разряду предшествует индукция, и эта индукция должна была происходить по кривым линиям.

1231. Я не могу себе представить, чтобы можно было не видеть в предыдущих выводах доводов, говорящих против принятой теории индукции и в пользу той, которую я решился выдвинуть. Эти явления, несомненно, представляют собой индуктивные явления и производятся электричеством не в форме тока, а в его статическом состоянии, и эта индукция проявляется по силовым линиям, которые, хотя и могут быть прямыми во многих опытах, но здесь более или менее искривлены в зависимости от обстоятельств. Я пользуюсь термином *линия индуктивной силы* только в качестве временного условного способа выражения направления этой силы в случаях индукции. Любопытно то, что в опытах с полушарием (1224), когда некоторые линии

¹ Encyclopaedia Britannica, VI, стр. 504.

оканчивались на нижней поверхности и на краю металла, те линии, которые были раньше боковыми по отношению к ним, *расширяются и расходятся* друг от друга, причем одни загибаются кругом и заканчивают свое действие на верхней поверхности полушария, а другие как бы встречаются наверху при своем стремлении наружу, объединяют свои силы, чтобы сообщить шарик-передатчику увеличенный заряд на *увеличенном расстоянии* от источника силы; при этом они влияют друг на друга так, что получается второе искривление в направлении, противоположном первому. Все это, мне кажется, подтверждает, что общее действие представляет собой действие связанных друг с другом смежных частиц не только по линиям, которые, как можно себе представить, они образуют в диэлектрике между индуцирующей и индуцируемой поверхностями (1483), но и по другим боковым направлениям. Именно это и вызывает действия, эквивалентные боковому отталкиванию или расширению силовых линий, о котором я говорил, и дает возможность индукции огибать углы (1304). В отличие от силы тяготения, которая заставляет частицы действовать друг на друга по прямым линиям, независимо от того, какие другие частицы находятся между ними, эта сила оказывается более сходной с силой ряда магнитных стрелок или же с состоянием тех частиц, совокупность которых, как принято считать, составляет прямолинейный или подковообразный магнит. Таким образом, с какой бы точки зрения я ни рассматривал вопрос, учитывая влияние, которое могли бы оказать на мое мнение общепринятые идеи, я не могу себе представить, каким образом обычной теорией можно воспользоваться для объяснения индукции, и как она при этом может оказаться правильным выражением великого естественного принципа электрического действия.

1232. При описании предосторожностей, необходимых при пользовании индуктивными приборами, я имел случай указать на одну из них, основанную на индукции по кривым линиям (1203); после описанных опытов легко понять, какое сильное влияние может оказывать шеллаковый стержень на заряд при-

ложенного к прибору (1218) шарика-передатчика, если не принять этой предосторожности.

1233. Я считаю целесообразным здесь же вместе с настоящими экспериментальными исследованиями описать некоторые непредвиденные явления, зависящие от *проводимости* и полученные с такими телами, как стекло, шеллак, сера и т. п. Поняв их правильно, мы познакомимся с некоторыми предосторожностями, необходимыми при исследовании важного вопроса об удельной индуктивной способности.

1234. В один из описанных индукционных приборов (1187 и т. д.) была введена полусферическая чашечка из шеллака, которая занимала почти все пространство между внутренним шаром и нижним полушарием; поэтому, когда прибор был заряжен, то диэлектриком или изолирующей средой, через которую здесь проходила индукция, служил шеллак. Когда, при прочих равных обстоятельствах, этот прибор сначала заряжался электричеством (1198) до некоторого напряжения, например 400° , измеряемого электрометром Кулона (1180), то последнее от этого значения убывало значительно быстрее, чем когда прибор ранее заряжался до более высокой степени и напряжение постепенно падало до 400° , или в том случае, когда путем нового сообщения заряда последний снова приводился к 400° . Далее, пусть прибор был заряжен в течение некоторого времени, например пятнадцати или двадцати минут; если его теперь сразу и до конца разрядить так, чтобы удалить все электричество даже со стержня (1203), то, будучи предоставлен самому себе, прибор постепенно вновь получал заряд, который в течение девяти или десяти минут возрастал до 50 или 60° , а в одном случае до 80° .

1235. Электричество, которое в этих случаях как бы переходило из скрытого в осязательное состояние, всегда оказывалось того же рода, как сообщенное ему при зарядке. Восстановление заряда происходило на обеих индуцирующих поверхностях, ибо если после полного разряда прибора он весь изолировался, то когда внутренний шар вновь принимал положительное состояние, внешняя сфера приобретала отрицательное.

1236. Это явление можно было сразу отличить от производимого возбужденным стержнем, действующим по кривым линиям индукции (1203, 1232), так как восстанавливавшийся заряд можно было полностью и мгновенно разрядить. Он, повидимому, зависит от внутреннего шеллака и каким-то образом производится электричеством, выделяющимся из шеллака вследствие того предшествующего состояния последнего, в которое он был приведен зарядом металлических обкладок или шаров.

1237. Чтобы исследовать это состояние более точно, прибор с помещенной внутри полусферической шеллаковой чашечкой в течение примерно сорока пяти минут заряжался положительным электричеством выше 600° через верхний и внутренний шарики h и B (рис. 109). Затем прибор разряжался, раскрывался, шеллак вынимался, и его состояние исследовалось; для этого близко к шеллаку подносили шарик-передатчик, соединяли его с землей, изолировали и затем наблюдали, какой он приобрел заряд. Если бы этот заряд был обусловлен индукцией, то состояние шарика свидетельствовало бы о противоположном электрическом состоянии той поверхности шеллака, которая производила заряд шарика. Сначала казалось, что на шеллаке нет никакого заряда, но постепенно две его поверхности принимали противоположные электрические состояния, причем вогнутая поверхность, которая находилась ближе к внутреннему положительному шару, принимала положительное состояние, а выпуклая поверхность, которая соприкасалась с отрицательной обкладкой, приобретала отрицательное состояние; в течение некоторого времени интенсивность этих состояний постепенно возрастала.

1238. Так как, повидимому, возвращение происходило наиболее сильно непосредственно после разряда, то я вновь собрал прибор и заряжал его в течение пятнадцати минут, как и раньше; внутренний шар заряжался положительно. Затем я разряжал прибор, мгновенно удалял верхнее полушарие вместе с внутренним шаром и, оставляя шеллаковую чашечку на нижнем неизолированном полушарии, исследовал ее внутреннюю поверхность

с помощью шарика-передатчика так же, как ранее (1237). Таким путем я обнаружил, что эта поверхность действительно была заряжена отрицательно, т. е. находилась в состоянии, противоположном состоянию находившегося в ней шара; это состояние быстро исчезало и сменялось положительным, интенсивности которого, как и раньше, возрастала в течение некоторого времени. Первоначальное отрицательное состояние поверхности, обращенной к положительному заряжающему шару, является естественным следствием существующего положения вещей, так как заряжающий шар соприкасается с шеллаком только в нескольких точках. Оно не противоречит основному результату и рассматриваемому нами особому состоянию, а лишь помогает отчетливо иллюстрировать то обстоятельство, что поверхности шеллака в конце концов приходят в наэлектризованное состояние, подобное состоянию тех металлических поверхностей, которые обращены к ним или находятся с ними рядом.

1239. Далее, в отношении способности принимать это особое состояние было исследовано стекло. Я отлил сферическую чашечку из толстого флинт-гласа, которая легко входила в пространстве *o* нижней полусферы (1188, 1189); для уничтожения проводимости поверхности стекла, чашечка была подогрета и покрыта спиртовым раствором шеллака (1254). Подогрев ее и произведя с ней опыты, я нашел, что она также могла придти в *то же самое состояние*, но, повидимому, не в такой же степени, так как в различных случаях величина возвратного действия доходила только до $6-18^{\circ}$.

1240. При таких же опытах со спермацетом последний дал положительные результаты. Когда я поддерживал первоначальный заряд в течение пятнадцати или двадцати минут около 500° , то возвратный заряд был равен $95-100^{\circ}$, и примерно через четырнадцать минут достигал максимального значения. Заряд, который длился не более чем две-три секунды, сменялся здесь возвратным зарядом в 50 и 60° . Сделанные ранее наблюдения (1234) имели силу и в случае этого вещества. Спермацет, хотя он и изолирует в течение некоторого времени небольшой заряд,

является лучшим проводником, чем шеллак, стекло и сера, и эта проводимость связана с той легкостью, с которой он обнаруживает рассматриваемое нами особое явление.

1241. С е р а. Я интересовался величиной действия в этом веществе, во-первых, потому, что оно является прекрасным изолятором и в этом отношении иллюстрировало бы связь между этим явлением и степенью присущей диэлектрику проводимости (1247), и, во-вторых, чтобы иметь вещество, дающее наименьшую степень рассматриваемого здесь действия для изучения вопроса об удельной индуктивной способности (1277).

1242. Со сферической литой чашечкой из серы, безукоризненно вылитой, возвратный заряд, который я получил, достигал лишь 17—18°. Таким образом стекло и сера, которые сами по себе являются очень плохими проводниками электричества и действительно почти совершенными изоляторами, давали очень небольшой возвратный заряд.

1243. Такой же опыт я пытался произвести, когда в индуктивном приборе был только воздух. После непрерывного сильного заряда в течение некоторого времени мне удалось получить небольшое явление возвратного действия, но в конце концов оказалось, что оно зависело от шеллака стержня.

1244. Я хотел получить что-нибудь похожее на это состояние с электрической силой только одного рода и без помощи индукции, так как, с точки зрения теории электрической жидкости или жидкостей, это представлялось вполне возможным; и затем я получил бы при этом абсолютный заряд (1169, 1177) или нечто, ему эквивалентное. Это мне не удалось. В течение некоторого времени я очень сильно заряжал наружную поверхность шеллакового цилиндра и потом, быстро разрядив его (1203), ждал и наблюдал, не появится ли какой-нибудь возвратный заряд, но этого не случилось. Это является еще одним фактом в пользу неразделимости двух электрических сил (1177) и лишним доводом в пользу того взгляда, что индукция и сопровождающие ее явления зависят от полярности частиц вещества.

1245. Первоначально я склонялся к тому, чтобы приписать эти явления особому скрытому состоянию, в которое приходит некоторая часть сил; я полагаю, однако, что с тех пор правильно объяснил их уже известными причинами электрического действия. Эти явления, повидимому, объясняются действительным проникновением заряда на некоторое расстояние внутрь электрика у каждой из его поверхностей путем того, что мы называем *проводимостью*. Таким образом, выражаясь обычным языком, поддерживающие индукцию электрические силы находятся не только на металлических поверхностях, но также и на диэлектрике и внутри его, распространяясь на большую или меньшую глубину от металлических обкладок. Пусть c (рис. 118) представляет собой сечение пластинки из какого-либо диэлектрика, a и b — металлические обкладки; допустим, что b не уединена, а a заряжена положительно; если по истечении десяти или пятнадцати минут a и b разрядить, изолировать и тотчас же исследовать, то на них не появится никакого заряда; но через короткий промежуток времени, при вторичном исследовании, они окажутся заряженными также же, как первоначально, хотя и не в такой степени. Теперь предположим, что часть положительной силы под побуждающим влиянием всех замешанных в опыт сил проникла в диэлектрик и заняла место на линии p , а соответствующая часть отрицательной силы также заняла свое место на линии n ; что фактически электрик в этих двух местах зарядился положительно и отрицательно; тогда очевидно, что теперь, когда эти две силы отделены друг от друга незначительным расстоянием pn , индукция будет значительно больше по направлению друг к другу и меньше в направлении наружу, чем когда они были на большем расстоянии ab . Затем разрядим a и b ; этот разряд уничтожит или нейтрализует всю внешнюю индукцию, и

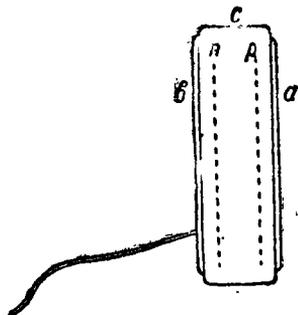


Рис. 118.

шарик-передатчик покажет, что обкладки не наэлектризованы; но разряд в то же время устраняет все те силы, которые заставляют электрические заряды проникать в диэлектрик, и хотя часть этих зарядов, по всей вероятности, продолжает продвигаться вперед и заканчивается тем, что мы называем разрядом, но более значительная часть идет обратным путем к поверхностям c , а следовательно к проводникам a и b , и образует наблюдаемый нами возвратный заряд.

1246. Правильность этого взгляда подтверждается следующим опытом. Две пластинки из спермацета d и f (рис. 119) складывались вместе и образовали диэлектрик, а a и b , как и раньше, служили металлическими обкладками этой составной пластинки. Система заряжалась, затем разряжалась, изолировалась, исследовалась; оказалось, что она не сообщает шарикупередатчику и следов электричества. Затем пластинки d и f отделялись друг от друга, и в тот же момент a и d оказывались заряженными положительно, а b и f — отрицательно; при этом почти все электричество располагалось на границах a и b . Отсюда ясно, что из искоемых сил положительная находилась на

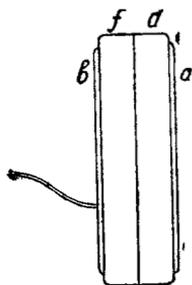


Рис. 119.

одной половине составной пластинки, а отрицательная — на другой, ибо при удалении их вместе с пластинками из-под взаимного индуктивного влияния они появлялись в разделенных друг от друга точках и по необходимости восстанавливали свою способность действовать путем индукции на электричество окружающих тел. Если бы это явление зависело только от особой связи между смежными частицами вещества, то каждая половина пластинки d и f должна была бы обнаружить положительную силу с одной стороны поверхности и отрицательную — с другой.

1247. Итак, повидимому, ясно, что наилучшие твердые изоляторы, как шеллак, стекло и сера, обладают проводящими свойствами в такой степени, что электричество может проникать внутрь их массы, хотя оно всегда подвержено преобладающему дей-

ствию индукции (1178). Что касается глубины, на которую силы проникают в виде такого заряда частиц, то теоретически они должны проходить через всю массу, ибо так же, как заряд металла, действует на расположенное рядом с ним место диэлектрика, так же, в свою очередь, должен действовать заряженный диэлектрик на соседнюю часть вещества; но, по всей вероятности, в самых лучших изоляторах ощутимый заряд проникает в вещество лишь на очень небольшую глубину, ибо в противном случае в первый момент, пока еще поддерживается первоначальный заряд, исчезало бы больше электричества, меньше времени потребовалось бы на то, чтобы установить описываемое особое состояние, и больше электричества появлялось бы в виде возвратного заряда.

1248. То обстоятельство, что для этого проникновения заряда требуется *время*, существенно как в отношении общей связи этих явлений с проводимостью, так и потому, что оно устраняет те возражения, которые можно было бы в противном случае выдвинуть против некоторых описываемых ниже (1269, 1277) выводов, касающихся удельной индуктивной способности.

1249. Именно это временное приобретение заряда стеклом, находящимся между обкладками лейденской банки, и дает начало общеизвестному явлению, а именно *остаточному заряду*; это явление обычно относят за счет распространения электричества по непокрытой части стекла. Величина заряда, который может самопроизвольно восстановиться на большой батарее после полного разряда обкладок, весьма значительна, и весьма большая часть его обусловлена возвратом электричества описанным способом. Если у пластинки из шеллака, площадью в шесть квадратных дюймов и толщиной в полдюйма, или такой же пластинки из спермацета, толщиной в один дюйм, оклеить стороны станиолем, как в лейденской банке, то на них это явление видно превосходно.

1250. Только что описанное особое состояние диэлектриков, очевидно, способно породить такие действия, которые вредно отзываются на результатах опытов с двумя индуктивными при-

борами, и на выводах, которые из них можно делать, когда в одном или обоих приборах имеются шеллак, стекло и т. п. (1192, 1207); в самом деле, вполне понятно, что по разделении заряда описанным образом (1198, 1207) напряжение того прибора, который только что получил свою половину заряда, должно падать быстрее, чем напряжение другого. Действительно, предположим, что прибор I получил заряд первым и разделил его с прибором II; пусть утечка в обоих будет одинаковой; но уменьшенный до половины заряд прибора I будет поддержан некоторым количеством возвратного действия или заряда (1234), тогда как заряд прибора II будет убывать быстрее вследствие прихода в то же особое состояние. Я хотел избежать этого затруднения тем, что производил весь процесс сравнения возможно быстрее и измерял силу прибора II немедленно по разделении зарядов, раньше, чем могло произойти заметное уменьшение напряжения, зависящее от наступающего особого состояния; я полагал, что минуты три проходит между первоначальной зарядкой прибора I и разделением зарядов и столько же между разделением и разрядом, когда измеряется сила не способного передаваться электричества, а потому противоположные стремления в течение этих периодов времени будут в течение последнего промежутка времени удерживать прибор в более или менее устойчивом и однородном состоянии.

1251. Описанное особое действие возникает как в шеллаковом стержне, так и в *дизлектрике*, которым мы пользуемся внутри прибора. Оно представляет собой возможную причину того, что при некоторых манипуляциях наружная поверхность стержня оказывается заряженной электричеством, независимо от действия пыли или переносящих заряды частиц (1203).

ГЛАВА V

Об удельной индукции или удельной индуктивной способности

1252. Теперь я перехожу к рассмотрению важного вопроса об удельной индуктивной способности, т. е. о том, действительно ли различные дизлектрики оказывают какое-либо влияние на

степень проходящей через них индукции. Если бы подобное различие существовало, то оно было бы, по моему мнению, не только чрезвычайно важно для дальнейшего понимания законов и действий индукции, но и лишним и очень сильным доводом в пользу выдвинутой мною теории, что все явление обусловлено молекулярным действием, в противоположность теории действия на заметных расстояниях.

Вопрос можно поставить так: пусть A представляет собой подвешенную в воздухе наэлектризованную металлическую пластинку, а B и C — две точно такие же пластинки, расположенные параллельно A по обе стороны от нее на одинаковых расстояниях и неизолированные; в таком случае индуктивное действие A по направлению к B и C будет одинаково. Если при этом положении пластинок ввести между A и C не воздух, а какой-нибудь другой диэлектрик, например шеллак, то останется ли индукция между ними прежней? Останется ли отношение C и B к A неизменным, несмотря на различие в проложенных между ними диэлектриках?¹

1253. Насколько я знаю, принято считать, что при такой перемене условий никакого изменения не возникает, и что поведение B и C по отношению к A зависит целиком от их расстояния. Я припоминаю только один опыт по этому вопросу, а именно произведенный Кулоном,² где он показывает, что провод, окруженный шеллаком, отнимает от заряженного тела точно такое же количество электричества, как тот же самый провод в воздухе. Я не думаю, чтобы этот опыт действительно доказывал правильность такого предположения, ибо рассматривать и сравнивать следует не просто слои диэлектрического вещества, окружающие заряженное тело, а *всю массу* этого вещества между этим телом и теми окружающими его проводниками, на которых заканчивается индукция. Заряд обусловлен индукцией (1171, 1178), и если индукция имеет отношение к частицам окружающего диэлектрика, то она связана со *всеми* частицами этого диэлектрика,

¹ Для практической иллюстрации этого положения см. дополнительное примечание, начинающееся с п. 1307 и т. д. Дек. 1838 г.

² Mémoires de l'Académie, 1787, стр. 452, 453.

заклученного между окружающими проводниками, а не только с теми немногими, которые расположены рядом с заряженным телом. Существовало ли искомое мною различие или нет, я вскоре нашел основание усомниться в том заключении, которое можно было бы вывести из полученного Кулоном результата; и потому я изготовил прибор, который, так же как и его употребление (1187 и т. д.), описан выше, и который представляется мне вполне подходящим для исследования этого вопроса.

1254. Стекло и многие вещества, которые на первый взгляд могли бы считаться весьма удобными для проверки этого принципа, оказались в высшей степени неподходящими для этой цели. Поверхность стекла, как бы хорошо ее ни прогреть и высушить, обладает, главным образом вследствие содержащихся в нем щелочей, некоторой проводимостью, зависящей от влажности атмосферы, и это делает его непригодным для решающего опыта. Канифоль, воск, петролейный эфир, скипидар и многие другие вещества были одно за другим отвергнуты из-за присущей им небольшой проводимости, и после многих опытов в качестве диэлектриков, наиболее подходящих для исследования, были окончательно выбраны шеллак и сера. Нетрудно понять, каким образом при слабой проводимости вещества получают явления, из которых можно было бы заключить, что это вещество обладает большей способностью пропускать через себя индукцию, чем другое, более совершенное по своей изоляции тело. Я нашел, что этот источник ошибок всего труднее устранить в решающих опытах.

1255. И н д у к ц и я ч е р е з ш е л л а к. В качестве подготовительного опыта я прежде всего удостоверился в том, что, когда часть поверхности толстой шеллаковой пластины была возбуждена или заряжена, то никакого заметного различия в характере индукции, поддерживаемой этой заряженной частью, вообще нет, все равно, куда индукция направлена — через воздух или в другую сторону, через шеллак пластинки; необ-

ходимо только, чтобы вторая поверхность пластинки не была напряжена путем контакта с проводниками, действием пыли или каким-либо другим образом (1203). Вследствие того, что шеллак находится в твердом состоянии, его возбужденные частицы оставались в неизменном положении, но этим, повидимому, все и ограничивалось, ибо частицы действовали совершенно так же свободно в одну сторону через шеллак, как и через воздух в другую. Другой такой опыт состоял в следующем: я прикреплял с одной стороны шеллаковой пластинки станиолевый диск и электризовал его; результаты получались те же. Пожалуй, ни одно твердое вещество, кроме шеллака и серы, и ни одна жидкость из тех, которые я исследовал, не выдержат такого испытания. Стекло в обыкновенном своем состоянии совершенно не годится; между тем, было существенно необходимо получить эту предварительную степень совершенства взятого для опыта диэлектрика, и только потом можно было продолжать основное исследование.

1256. Прежде всего были подвергнуты сравнению *шеллак и воздух*. Для этой цели внутрь нижнего полушария одного из индуктивных приборов (1187 и т. д.) была введена толстая полусферическая шеллаковая чаша; она при этом почти заполняла нижнюю половину пространства *oo* (рис. 109) между полушарием и внутренним шаром, а затем делились заряды уже описанным способом (1198, 1207); первым заряжался до разделения то один, то другой прибор по очереди. Поскольку известно, что оба прибора, будучи заполнены воздухом, обладают одинаковой индуктивной способностью (1209, 1211), то всякие различия, которые возникают в результате введения шеллака, укажут на особенности действия в нем, и если бы эти особенности бесспорно можно было приписать удельному индуктивному влиянию, то положение, которое я пытаюсь поддержать, было бы доказано. Я уже упоминал о предосторожностях, необходимых при производстве этих опытов (1199 и т. д.), а что касается ошибки, которая могла бы возникнуть вследствие приобретения [диэлектриком] особого состояния, то она, насколько возможно, предотвращалась прежде всего тем, что опыт производился быстро (1248), и еще тем, что

для опыта брались такие диэлектрики, как стекло или сера, которые воспринимали это особое состояние наиболее медленно и в наименьшей степени (1239, 1241).

1257. Шеллаковое полушарие было помещено внутрь прибора I, а прибор II был оставлен заполненным воздухом. Вот результаты одного опыта, при котором заряд в воздухе был разделен и уменьшен прибором с шеллаком:

Прибор I. Шеллак	Прибор II. Воздух
Шарики 255°	
0°	304°
.....	297°
Заряд разделен	
113°	121°
0°	7°
.....	после разряда
	после разряда

1258. Здесь можно считать, что 297° минус 7°, т. е. 290° (7° представляет собой постоянное действие стержня (1203, 1232)), есть делимый заряд прибора II, половина которого составляет 145°. Прибор I с шеллаком дал для силы, или напряжения, приобретенного им по разделению заряда, величину 113°, а для силы, которую сохранил прибор II с воздухом из того, что он удержал из делимого заряда, равного 290°, получилась величина 121° минус 7°, т. е. 114°. Ясно, что эти два значения должны быть равны, и это действительно почти так, ибо разница гораздо меньше ошибок опыта и наблюдения. Но эти числа очень сильно отличаются от 145°, или от силы, которую обнаружил бы половинный заряд, если бы прибор I вместо шеллака содержал воздух; ясно, что во время разделения заряда индукция через воздух потеряла силу величиной 176°, а индукция через шеллак приобрела за это время только 113°.

1259. Если предположить, что эта разница целиком объясняется большей по сравнению с воздухом легкостью, с которой шеллак допускает или производит индуктивное действие через свою массу, то эта способность к электрической индукции была

бы обратно пропорциональна указанным выше потере и приросту заряда; если положить емкость воздушного прибора равной единице, то емкость прибора с шеллаком получилась бы $\frac{176}{113}$, или 1,55.

1260. Что значение этой разницы так велико, было настолько неожиданно, что вызвало сильнейшие подозрения относительно точности опыта вообще, хотя прибор I после разделения заряда разряжался полностью, что указывало на то, что величина 113° принималась и отдавалась прибором без затруднений. Было очевидно, что если такое различие действительно существует, то оно должно производить соответствующие действия и в обратном порядке, и что если превратить индукцию через шеллак в индукцию через воздух, сила или напряжение всей системы должны *увеличиться*. Поэтому прибор I был заряжен первым, и его сила была разделена с прибором II. Результаты получились следующие:

Прибор I. Шеллак	Прибор II.	Воздух	
		0°	
215°		
204°		
	Заряд разделен		
		118°	
118°		
0°	0°	после разряда
			после разряда

1261. Здесь 204° соответствует наибольшей величине делимого заряда. Прибор I и прибор II дают для их соответствующих сил величину 118° ; теперь оба значения значительно больше половины первоначальной силы, т. е. 102, тогда как в первом случае они были меньше половины ее. Прибор I с шеллаком потерял только 86° , но сообщил он прибору II с воздухом заряд 118° , так что шеллак попрежнему значительно превосходит воздух, и емкость прибора I с шеллаком относится к емкости воздушного прибора II, как 1,37 к 1.

1262. Разница между числами 1,55 и 1,37, выражающими способность шеллака к индукции, кажется значительной, но в действительности она при данных условиях вполне допустима, ибо в указанных двух случаях ошибка имеет *противоположное направление*. Так, в последнем опыте под совместным действием рассеяния и поглощения (1192, 1250) заряд уменьшился с 215 до 204° за то время, которое пошло на манипуляции с электрометром между двумя прикосновениями шарика-передатчика, необходимыми для получения этих двух результатов. Почти столько же времени, вероятно, прошло между прикосновением шарика, давшим результат в 204° , и разделением заряда между двумя приборами; но уменьшение силы постепенно падает по величине (1192); примем ее в данном случае равной всего 6° ; тогда к моменту разделения заряда полная величина передаваемого заряда уменьшится до 198° вместо 204° ; это уменьшает потерянный шеллаком заряд до 80° вместо 86° , и тогда выражение для удельной способности его увеличивается и оказывается превосходящим способность воздуха не в 1,37 раза, а в 1,47 раза.

1263. Внеся такую же поправку в предшествующий опыт, в котором *первым* был заряжен воздух, получим результат *противоположного* рода. В этом случае в приборе не имелось шеллаковой чаши, и поэтому потеря была обусловлена главным образом рассеянием, а не поглощением; следовательно, она должна быть ближе к потере, указываемой числами 304 и 297° , и если принять ее равной 6° , то она уменьшит делимый заряд до 284° . В таком случае воздух потерял бы 170° и сообщил бы шеллаку всего 113° , и удельная способность последнего оказалась бы равной 1,50, что, действительно, очень мало отличается от 1,47, величины, даваемой вторым опытом, если его поправить таким же образом.

1264. Затем шеллак был удален из прибора I и помещен в прибор II, и снова были произведены опыты с разделением заряда. Я привожу эти результаты, так как полагаю, что важность вопроса оправдывает и даже требует этого.

Прибор I. Воздух	Прибор II. Шеллак	
	Шарики 200°	
	.....	0°
286°	.....
283°	.....
	Заряд разделен	
	.....	110°
109°	.....
	.....	0,25°
Следы	.....	после разряда после разряда

Здесь прибор I удержал 109°, потеряв 174°, и сообщив прибору II 110°; емкость воздушного прибора с воздухом относится к емкости прибора с шеллаком, как 1 к 1,58. Если поправить разделенный заряд на потерю, принимая последнюю всего в 3° (это представляет собой величину предшествующих потерь за такой же промежуток времени), то это понизит емкость прибора с шеллаком до величины, равной всего 1,55.

1265. Затем был заряжен прибор II, и заряд был разделен таким образом:

Прибор I. Воздух	Прибор II. Шеллак.	
0°	.....
	.....	256°
	.....	251°
	Заряд разделен	
146°	.....
	.....	149°
немного	.....	после разряда
	.....	немного после разряда

Здесь прибор I приобрел заряд в 146°, тогда как прибор II, сообщая эту величину силы, потерял всего 102°; таким образом емкости относятся друг к другу, как 1 к 1,43. Если в величину всего передаваемого заряда внести поправку на потерю в 4° до деления, то это даст для емкости прибора с шеллаком значение 1,49.

1266. Эти четыре значения — 1,47; 1,5; 1,55 и 1,49 — для силы шеллакового прибора при различных видоизменениях опыта очень близки друг к другу; среднее из них очень близко 1,5, что

и можно в дальнейшем принимать за выражение результата. Последний чрезвычайно важен; показывая превосходство данного куска шеллака над воздухом в смысле допущения или произведения акта индукции, он тем самым еще сильнее подтверждает необходимость более точного и строгого изучения вопроса в целом.

1267. Шеллак был наилучшего качества и был тщательно отобран и очищен, но если бы в нем заключались какие-нибудь проводящие частицы, то они стремились бы в сущности уменьшить количество или толщину испытываемого диэлектрика и произвести такое действие, как если бы две индуцирующие поверхности проводников в этом приборе были ближе друг к другу, чем в приборе с одним лишь воздухом, а потому я изготовил другую шеллаковую полусферу, материал которой был растворен в крепком винном спирте; раствор был профильтрован и затем тщательно выпарен. Это не легкая работа, ибо трудно удалить последние следы спирта, не испортив шеллак нагреванием. а если не избавиться от них, то оставшееся вещество проводит так хорошо, что им в этих опытах пользоваться нельзя. Я изготовил таким способом две полусферы, одну из них безукоризненно, и повторил с ней предыдущие опыты со всеми предосторожностями. Результаты получились точно такие же; для емкости прибора с шеллаком, — все равно, какой это был прибор, I или II, — опыты непосредственно дали следующие значения: 1,46; 1,50; 1,52; 1,51; среднее из них и нескольких других очень близко к 1,5.

1268. Для окончательной проверки этого общего заключения я в дальнейшем фактически сблизил поверхности в воздушном приборе в месте, соответствующем местоположению шеллака в другом приборе; для этого в нижнюю полусферу прибора, не содержащего шеллака (1213), была вложена металлическая прокладка. Расстояние между металлической поверхностью и несущим заряд шаром было таким путем уменьшено с 0,62 до 0,435 дюйма, тогда как промежуток, занятый шеллаком в другом приборе, оставался, как и раньше, равным 0,62 дюйма.

Несмотря на это изменение, прибор с шеллаком обнаруживал прежнее превосходство, и независимо от того, какой прибор заряжался первым — этот или воздушный прибор, — емкость прибора с шеллаком относилась к емкости воздушного прибора, согласно результатам опыта, как 1,45 к 1.

1269. На основании всех сделанных мною опытов и их неизменных результатов я не могу не вывести заключения, что шеллак представляет случай удельной индуктивной способности. Я всячески пытался проверить эти опыты, и если не устранить, то по крайней мере оценить все источники ошибок. Что окончательный результат нельзя объяснить обычной проводимостью, на это указывает способность прибора удерживать сообщенный ему заряд; что результат не зависит от проводимости небольших включенных частиц, благодаря которой последние, как проводники, могли бы приобрести поляризованное состояние, это подтверждается действиями шеллака, очищенного спиртом; а что результат не вызывается каким-либо влиянием описанного выше заряженного состояния (1250), заключающегося в поглощении и последующей отдаче заряда, это видно из того, как *мгновенно* принимается и разряжается сила, которая участвует в описанных явлениях; такая мгновенность действия имеет место в этих случаях в той же мере, как во всех других случаях обыкновенной индукции с помощью заряженных проводников. Последнее соображение особенно поразительно в применении к тому случаю, когда для разделения заряда с прибором, содержащим шеллак, служит прибор с воздухом, ибо он получает свою порцию электричества *мгновенно* и, тем не менее, оказывается заряженным значительно выше средней величины.

1270. Теперь допустим, что основной факт доказан; тогда цифра 1,5, хотя она и дает выражение для емкости прибора, содержащего шеллак, никоим образом не выражает соотношения между шеллаком и воздухом. Шеллак в содержащем его приборе занимает только половину пространства *oo*, через которое поддерживается индукция; остальное пространство заполнено воздухом, как и в другом приборе; и если отвлечься от действия

двух верхних полушарий, то сравнение силы шеллака в нижней половине одного прибора с силой воздуха в нижней половине другого даст отношение 2 : 1; и даже это будет меньше истинного, ибо индукция верхней части прибора, т. е. провода и шарика *B* (см. рис. 109) на внешние предметы должна быть одинакова в обоих приборах и значительно уменьшает то различие, которое зависит от влияния шеллака внутри и действительно им производится.

1271. С т е к л о. После этого я в качестве диэлектрика пользовался стеклом. Тут имелась возможность проводимости по поверхности, но исключалась всякая мысль о присутствии проводящих частиц внутри его вещества (1267), кроме частиц самого стекла. Кроме того, оно не так легко и не в таких размерах, как шеллак, приходит в заряженное состояние (1239).

1272. Тонкая полусферическая стеклянная чашечка была нагрета и покрыта слоем шеллака, растворенного в спирту, и после просушки в течение многих часов в теплом месте была внесена в прибор для производства с ней опытов. Обнаруженные ею действия были настолько незначительны, что хотя характер их и указывал на превосходство стекла над воздухом, их можно было отнести за счет возможных ошибок опыта; я принял, что стекло не создает заметного действия.

1273. Затем я достал толстую полусферическую чашку из флинт-гласа, похожую на чашку из шеллака (1239), но она не так хорошо заполняла пространство *oo*. Средняя толщина ее была равна 0,4 дюйма; чтобы получить полную величину промежутка между индуктивными металлическими поверхностями, равного 0,62 дюйма, имеющейся дополнительной воздушной прослойке надо приписать среднюю толщину 0,22 дюйма. Эта чашка, как и предыдущая, была покрыта слоем шеллака (1272) и в сильно нагретом состоянии была внесена в прибор, также подогретый; затем с ней были произведены те же опыты, как и в предыдущих случаях (1257 и т. д.). В общем результаты получились такие же, как с шеллаком, т. е. стекло превосходило воздух по своей способности пропускать индукцию. Два самые лучшие ре-

зультата (в смысле сохранения прибором заряда и т. п.) дали для удельной индуктивной способности стекла число 1,336, когда первым был заряжен воздушный прибор, и 1,45, когда первым заряжался прибор со стеклом; оба результата приведены без поправки. Среднее из девяти опытов, из которых в четырех заряжался прибор со стеклом, а в пяти — воздушный, дало для этой способности прибора, содержащего стекло, величину 1,38; минимальное и максимальное значение этих чисел, включая и все ошибки опыта, были равны 1,22 и 1,46. Во всех этих опытах прибор со стеклом получал свой индуктивный заряд мгновенно и так же быстро его отдавал (1269) и в течение короткого промежутка времени, соответствующего каждому опыту, приходил в особое состояние лишь в небольшой степени, так что влияние на результаты этого состояния, а также проводимости должно было быть незначительным.

1274. Допуская, что существование удельной индуктивной способности доказано, что она является действующей в настоящем случае, и что значение ее для прибора со стеклом равно 1,38, получим для удельной индуктивной способности стекла величину, превосходящую 1,76; но не следует забывать, что это выражение получено для куска стекла такой толщины, что она составляет не полные две трети пространства, в котором поддерживается индукция (1273, 1253).

1275. С е р а. С прежней полусферой из этого вещества (1242) были сделаны опыты с прибором II. Опыты были произведены аккуратно, т. е. сама сера была свободна от заряда как до опыта, так и после него; не было также действия со стороны стержня (1203, 1232), так что в этом отношении поправки не требовалось. Когда воздушный прибор заряжался первым, по разделении его заряда получились следующие результаты:

Прибор I. Воздух	Шарики 280°	Прибор II. Сера
0°	0°
438°	
434°	

Прибор I. Воздух	Прибор II. Сера
Заряд разделен	
164°	162°
162°	160°
0°	0°
	после разряда после разряда

В этом случае прибор I удерживал заряд 164°, потеряв при сообщении 162° прибору II 270°; емкости воздушного прибора и прибора с серой относятся как 1 к 1,66.

1276. Затем первым был заряжен прибор, содержащий серу:

0°	0°
395°	395°
388°	388°
Заряд разделен	
237°	238°
0°	0°
	после разряда после разряда

Здесь прибор II сохранил 238° и отдал 150°, сообщив прибору I заряд, соответствующий 237°; емкость воздушного прибора относится к емкости прибора, содержащего серу, как 1 к 1,58. Эти результаты очень близки друг к другу, и мы можем принять, что среднее, равное 1,62, представляет собой удельную индуктивную способность прибора с серой; в таком случае удельная индуктивная способность самой серы по сравнению с воздухом, для которого она равна 1 (1270), будет приблизительно равна 2,24 или несколько выше.

1277. Результат опыта с серой я считаю одним из наиболее безупречных. Это вещество при плавлении было совершенно чисто, прозрачно и свободно от частичек грязи (1267), так что результат не был искажен влиянием небольших проводящих тел. В твердом виде это вещество является превосходным изолятором и, как показал опыт, очень медленно приходит в то состояние (1241, 1242), которое, по видимому, одно только и может

искажить выводы. Самые опыты также не требовали поправок. И все же, при всех этих обстоятельствах, столь благоприятствующих исключению ошибок, для серы в результате получается более высокая удельная индуктивная способность, чем для всех других испытанных до сих пор тел; и хотя отчасти это можно объяснить тем, что сера была лучше по форме, т. е. тем, что она лучше заполняла пространство *oo* (рис. 109), чем чашки из шеллака и стекла, все же я с удовлетворением отмечаю, что эти опыты с совершенной полнотой подтверждают существование различия между диэлектриками в отношении их способности облегчать проходящее через них индуктивное действие; временно будем выражать это различие термином: *удельная индуктивная способность*.

1278. Установив таким образом это положение в наиболее благоприятных случаях, которые я мог предвидеть, я перешел к изучению других веществ — твердых, жидких и газообразных. Эти результаты я приведу с подобающей краткостью.

1279. С п е р м а ц е т. Аккуратно сделанное полушарие из спермацета было испытано в отношении проводимости; при этом обе его поверхности еще были в соприкосновении со станиолевой формой; которая служила при ее отливке; при опыте было обнаружено, что чашка заметно проводит даже в нагретом состоянии. Чашка была вынута из формы, и с ней были проделаны опыты в одном из приборов; полученные при этом результаты указывают для удельной индуктивной способности прибора, в котором она содержалась, величину между 1,3 и 1,6. Однако при этом единственный возможный способ действия был таков: зарядить воздушный прибор, а затем, быстро приведя его в прикосновение с прибором, содержащим спермацет, посмотреть, что остается в первом (1281); при таких обстоятельствах эти результаты не заслуживают большого доверия. Они не противоречат общему выводу, но не могут служить доказательством в его пользу.

1280. Я пытался найти какие-нибудь хорошо изолирующие жидкости, которые можно было бы получить в достаточном для

Этих опытов количестве. Скипидар, очищенная природная нефть и сгущенный нефтяной газ на основании обычных опытов были наиболее обещающими в смысле изоляции. Они были оставлены на несколько дней в контакте с плавленным карбонатом кали, хлоридом кальция и негашеной известью, а затем отфильтрованы; при этом их изолирующие свойства сильно ухудшились; впрочем, после перегонки состояние этих веществ становилось опять весьма удовлетворительным, но даже в этом случае при соприкосновении с обширной металлической поверхностью, они оказывались проводящими.

1281. О ч и щ е н н ы й с к и п и д а р. Я заполнял этой жидкостью нижнюю половину прибора I, и так как он не держал заряда в такой мере, чтобы я мог сначала измерить, а затем разделить его, то я заряжал прибор II, содержащий воздух, и, разделив его заряд, путем быстрого соприкосновения с прибором I измерял то, что оставалось в приборе II; ибо теоретически дело представляется так: если путем быстрого соприкосновения разделить заряд между двумя приборами до одинакового напряжения, но без заметных потерь, зависящих от проводимости прибора I, и прибор II останется заряженным до напряжения выше того, которое соответствует половине первоначального заряда, то это бы указало, что скипидар обладает меньшей удельной индуктивной емкостью, чем воздух; напротив, если окажется, что он заряжается ниже этого среднего состояния напряжения, то это бы означало, что жидкость обладает большей индуктивной способностью. В одном опыте такого рода для заряда прибора II получалось 390° до разделения с прибором I и 175° — после этого, а это меньше половины от 390° . Далее, когда заряд до разделения был равен 175° , он после него был равен 79° , что также меньше половины подвергнувшегося разделению заряда. Заряд в 79° был разделен в третий раз и упал до 36° , что меньше половины от 79° . Результатов, лучших, чем эти, мне добиться не удалось; они не противоречат предположению, что скипидар обладает большей удельной способностью, чем воздух, но и не доказывают этого факта, ибо исчезновение больше чем

половины заряда может объясняться просто проводимостью жидкости.

1282. Н е ф т ь. Эта жидкость давала результаты, подобные полученным со скипидаром, в отношении как их природы, так и направления.

1283. Затем был рассмотрен весьма интересный в отношении удельной индуктивной способности класс веществ, а именно газы или вещества, подобные воздуху. Строение их настолько своеобразно, они объединяются множеством таких поразительных физических и химических соотношений, что я ожидал от них замечательных результатов; для первых опытов был взят воздух в различных состояниях.

1284. В о з д у х р а з р е ж е н н ы й и с г у щ е н н ы й. Некоторые опыты по разделению зарядов (1208), видимо, указывали на то, что рассматриваемые свойства одинаковы для разреженного и для сгущенного воздуха. Простой и более удобный способ состоял в том, чтобы присоединить один из приборов к воздушному насосу, зарядить прибор и затем исследовать напряжение этого заряда при большем или меньшем разрежении находящегося внутри воздуха. При таких условиях оказалось, что если начать с некоторого определенного значения заряда, заряд этот при разрежении воздуха не менялся в отношении своего напряжения или силы до тех пор, пока разрежение не становилось таким, что возникал *разряд* через промежуток *oo* (рис. 109). Этот разряд был пропорционален разрежению, но если он происходил и понижал напряжение до определенной степени, восстановление давления и плотности воздуха до их первоначальных значений вовсе не влияло на степень напряжения.

Дюймы ртутного столба

При давлении 30 заряд был равен	88°
Повторно при давлении 30 заряд был равен	88°
Снова " " 30 " " "	87°
При уменьшении " до 14 " " "	87°
При обратном повышении до 30 " " "	86°
При уменьшении до 34 " уменьшился до	81°
При обратном повышении до 30 заряд оставался равным	81°

1285. Заряды в этих опытах были взяты низкие, во-первых, для того, чтобы они не могли уходить при низком давлении, а, во-вторых, дабы могущая произойти потеря от рассеяния была невелика. В дальнейшем я уменьшил их еще больше, чтобы иметь возможность увеличить разрежение, и для этой цели в следующем опыте пользовался в электрометре измерительным промежутком всего в 15° (1185). При понижении давления воздуха внутри прибора до 1,9 дюйма ртутного столба заряд оказался равным 29° ; когда вовнутрь был впущен воздух до 30 дюймов давления, заряд попрежнему оставался равным 29° .

1286. Эти опыты были повторены с чистым кислородом, и результаты получились такие же.

1287. Тот факт, что изменение плотности или давления воздуха не вызывает изменения в электрическом напряжении, находится в полном согласии с результатами, полученными г. Гаррисом¹ и описанными им в его прекрасных и важных исследованиях, помещенных в *Philosophical Transactions*, а именно, что индукция в разреженном и плотном воздухе одинакова, и что расхождение электрометра при таких изменениях состояния воздуха остается неизменным, если только нет утечки электричества. Это явление совершенно не зависит от свойства плотного воздуха способствовать *удержанию* на поверхности проводников более высокого заряда, чем тот, который могли бы удержать те же самые проводники в разреженном воздухе; этот вопрос я намереваюсь рассмотреть несколько позднее.

1288. Затем я сравнивал друг с другом *горячий и холодный воздух*, для чего я повышал температуру одного из индуктивных приборов настолько, насколько это было возможно без вреда для него, а потом разделял заряды между этими и другим прибором, содержащим холодный воздух. Температуры были равны приблизительно 50 и 200° . Тем не менее, сила или емкость, повидимому, не изменялись; и когда я пытался видоизменить опыт, заряжая холодный прибор и затем подогревая его спиртовой горел-

¹ *Philosophical Transactions*, 1834, стр. 223, 224, 237, 244.

кой, то мне тоже не удавалось получить доказательства того, чтобы индуктивная способность претерпела какое-либо изменение.

1289. Я сравнивал друг с другом *влажный и сухой воздух*, но не мог обнаружить никакой разницы в результатах.

1290. Г а з ы. Затем был предпринят длинный ряд опытов для сравнения друг с другом *различных газов*. Все они оказались хорошими изоляторами, за исключением тех, которые действовали на шеллак поддерживающего стержня, как то: хлор, аммиак и соляная кислота. Перед введением внутрь прибора все они соответствующим образом просушивались. Было бы достаточно сравнивать каждый газ с воздухом, однако ввиду полученных поразительных результатов, а именно, что *все они обладали одной и той же силой, или способностью* к поддержанию индукции (этого, может быть, следовало ожидать после того как было обнаружено, что изменение плотности или давления не производит никакого действия), я захотел сравнить их на опыте попарно различными путями, чтобы никакие различия не могли от меня ускользнуть и чтобы тождество результатов предстало как полная противоположность тому разнообразию свойств, состава и состояния, который представляют самые газы.

1291. Опыты производились над следующими парами газов:

1. Азот	Кислород
2. Кислород	Воздух
3. Водород	Воздух
4. Газообразная соляная кислота . .	Воздух
5. Кислород	Водород
6. Кислород	Углекислота
7. Кислород	Маслородный газ
8. Кислород	Азотистый газ
9. Кислород	Сернистая кислота
10. Кислород	Аммиак
11. Водород	Углекислота
12. Водород	Маслородный газ
13. Водород	Сернистый газ
14. Водород	Фтористо-кремиевая кислота
15. Водород	Аммиак
16. Водород	Мышьяковистый водород
17. Водород	Сероводород

18. Азот	Маслородный газ
19. Азот	Азотистый газ
20. Азот	Окись азота
21. Азот	Аммиак
22. Окись углерода	Углекислота
23. Окись углерода	Маслородный газ
24. Окись азота	Азотистый газ
25. Аммиак	Сернистая кислота

1292. Несмотря на всякого рода резкие различия, которые представляют эти газы в отношении свойств, плотности, независимо от того, каковы они по природе: простые или сложные, суть ли они анионы или катионы (665); при каком давлении они находятся: при высоком или низком (1284, 1286), горячие или холодные (1288), — ни малейшей разницы в их способности благоприятствовать электрической индукции или пропускать ее через себя обнаружить не удалось. Если считать установленным, что во всех этих газах индукция происходит действием смежных частиц, то это тем более важно и прибавляет еще одно к тем многочисленным и поразительным отношениям, которые наблюдаются для тел, находящихся в газообразном состоянии и форме. Другое столь же важное электрическое свойство, которое будет рассмотрено в следующем докладе, ¹ заключается в том, что проводники, находящиеся в различных газах, при *одинаковом давлении* удерживают на своей поверхности *или одну и ту же или же различные степени заряда*. Эти два вывода, повидимому, являются очень важными для явлений электрохимического возбуждения и разложения; в самом деле, *все* эти явления, какими бы они ни казались различными, должны обуславливаться электрическими силами частиц вещества, а потому одно уже правильное представление о расстоянии, которое, видимо, отделяет друг от друга эти частицы, будет способствовать выяснению того принципа, который объединяет их свойства и подчиняет их, как должно, одному общему закону.

1293. Вполне возможно, что газы и отличаются друг от друга своей удельной индуктивной способностью, но так незначи-

¹ В связи с этим пунктом см. п. 1382 и т. д. Дек. 1838 г.

тельно, что разницу эту нельзя обнаружить посредством именных у меня приборов. Однако следует помнить, что в опытах с газами, последние занимают все пространство *oo* (рис. 109) между внутренним и внешним шарами, за исключением небольшой его части, занятой стержнем, и что поэтому результаты получаются вдвое точнее, чем с твердыми диэлектриками.

1294. Во всех перечисленных опытах изоляция была хорошая, за исключением № 10, 15, 21 и 25, в которых с другими газами сравнивался аммиак. При погружении в аммиачный газ поверхность шеллака постепенно приобретает проводимость, и вследствие этого шеллаковая часть стержня внутри прибора претерпевала такие изменения, что прибор с аммиаком не мог держать заряд достаточно устойчиво для того, чтобы его можно было делить. Поэтому в таких опытах заряжался другой прибор; заряд его измерялся и разделялся с прибором, содержащим аммиак, путем быстрого соприкосновения, а то, что не было отдано при разделении, измерялось снова (1281). Последняя величина оказывалась настолько близкой к половине первоначального заряда, что это, с указанной оговоркой, оправдывает включение аммиачного газа в число других газов, обладающих одинаковой с ним силой.

ГЛАВА VI

Общие выводы относительно природы индукции

1295. Таким образом по существу своему *индукция*, видимо, представляет собой действие смежных частиц, через посредство которых возникающая или проявляющаяся в некотором определенном месте электрическая сила распространяется или поддерживается на некотором расстоянии, проявляясь здесь в виде силы такого же рода, в точности равной по величине, но противоположной по своему направлению и стремлениям (1164). Индукция не требует заметной толщины тех проводников, которые служат для ограничения ее распространения; не удлинненный золотой листочек можно очень сильно наэлектризовать положительно на одной поверхности и так же сильно отрица-

тельно на другой, причем эти два состояния ни в малейшей степени не мешают друг другу во все то время, пока сохраняется индукция. Природа ограничивающих проводников также не влияет на индукцию; требуется только, чтобы при опытах с медленно проводящими веществами им предоставлялся срок для прихода их в окончательное состояние (1170).

1296. Но в отношении *диэлектриков*, или изолирующих средин, дело обстоит совсем иначе (1167). Толщина их оказывает непосредственное и существенное влияние на степень индукции. Что же касается их качеств, то, правда, все газы и пары являются одинаковыми, независимо от их состояния, но между отдельными твердыми телами, а также между последними и газами, имеются различия, подтверждающие существование *удельных индуктивных способностей*, причем в отдельных случаях эти различия весьма значительны.

1297. Прямая индуктивная сила, которую можно вообразить действующей по линиям между двумя ограничивающими и заряженными проводящими поверхностями, сопровождается боковой или поперечной силой, эквивалентной расширению или отталкиванию этих воображаемых линий (1224); или, иначе: сила притяжения, существующая между частицами диэлектрика в направлении индукции, сопровождается силой отталкивания, вызывающей их расхождение в поперечном направлении (1304).

1298. Индукция состоит, повидимому, в некотором поляризованном состоянии частиц, в которое их приводит наэлектризованное тело, поддерживающее это действие, причем у частиц появляются положительные и отрицательные точки или участки, расположенные симметрично по отношению друг к другу и к индуцирующим поверхностям или частицам.¹ Это состояние должно быть вынужденным, ибо оно создается и поддерживается

¹ Излагаемая мною теория индукции не претендует на то, чтобы решить, является ли электричество одной жидкостью или двумя жидкостями, или же представляет собой просто свойство или состояние рассматриваемой материи. Этот вопрос мне, может быть, придется рассмотреть в ближайшей или в одной из следующих серий настоящих исследований.

только силой и при удалении этой силы падает до нормального состояния покоя. Одним и тем же количеством электричества оно может *длительно поддерживаться* только в изоляторах, потому что только они могут сохранять такое состояние частиц (1304).

1299. Явление индукции обладает наибольшей общностью в электрическом действии. Оно образует заряд во всех обычных, а, вероятно, и во всех вообще случаях; оно, повидимому, является причиной каждого возбуждения и предшествует каждому току. Степень этого вынужденного состояния, до которой доведены частицы перед тем, как происходит разряд того или иного рода, повидимому, составляет то, что мы называем *напряжением*.

1300. Когда лейденская банка *заряжается*, то электричество заряжающего прибора вызывает в частицах стекла это поляризованное и вынужденное состояние. *Разряд* представляет собой возвращение этих частиц из состояния напряжения в их естественное состояние всякий раз, когда двум электрическим силам предоставляется возможность направиться в некотором другом направлении.

1301. Весь заряд проводников находится на их поверхности, так как он является по существу индуктивным, и только здесь начинается среда, способная поддерживать необходимое индуктивное состояние. Если проводники являются полыми и содержат внутри воздух или какой-нибудь другой диэлектрик, то и тогда на внутренней их поверхности не может появиться *заряд*, потому что диэлектрик внутри не может прийти в поляризованное состояние во всей своей массе, вследствие противоположных действий в различных направлениях.

1302. Общеизвестное влияние *формы* [проводника] несколько не противоречит выдвигаемым мною корпускулярным представлением об индукции. Наэлектризованный цилиндр на концах испытывает более сильное влияние окружающих проводников (которые дополняют заряженное состояние), чем в середине, потому что концы подвергаются действию большей совокупности индуктивных сил, чем середина; а острие приходит в более вы-

сокое состояние, чем шар, потому что вследствие отношения к окружающим проводникам на его поверхности заканчивается больше индуктивной силы, чем на такой же поверхности шара, с которым он сравнивается. В этом случае можно в особенности обнаружить влияние боковой или поперечной силы (1297), которая, обладая характером отталкивания или будучи эквивалентна ему, вызывает такое расположение линий индуктивной силы на их пути через диэлектрик, что они должны сгущаться у острия, у конца цилиндра и каждого выступа.

1303. Влияние *расстояния* также находится в согласии с этим представлением. Может быть, и не существует столь большого расстояния, чтобы через него не могла проходить¹ индукция, но при одной и той же вынуждающей силе (1298) она происходит с тем большей легкостью, чем меньше протяженность диэлектрика, через который она действует. А так как теория предполагает, что частицы диэлектрика, хотя и стремятся сохранить нормальное состояние, но во время индукции приводятся в вынужденное состояние, то отсюда, повидимому, следует, что чем меньше таких промежуточных частиц, сопротивляющихся приходу в это новое состояние, тем большее изменение они претерпевают, т. е. состояние, в которое они приходят, тем выше, и тем больше индуктивное действие, на них оказываемое.

1304. Выражения *линии индуктивной силы* и *кривые линии силы* (1231, 1297, 1298, 1302) я употреблял только в общем смысле, точно так, как мы говорим о линиях магнитной силы. Линии эти воображаемые, и сила в каждой их точке является, конечно, результирующей сложных сил, так как каждая молекула связана с каждой другой молекулой по *всем* направлениям, вслед-

¹ Я экспериментально проследил индукцию от шарика, помещенного в середине описанного выше (1173) большого куба, до его стенок, отстоящих на расстоянии шести футов, а также от того же самого шарика, помещенного в середине нашей большой аудитории, до стен комнаты, отстоящих на расстоянии двадцати шести футов; при этом державшийся на шарике заряд был обусловлен в этих случаях исключительно индукцией через эти расстояния.

ствие напряжения и противодействия тех, которые являются с ней смежными. Поперечная сила представляет собой исключительно эту связь, рассматриваемую в направлении, наклонном к линиям индуктивной силы, и в настоящий момент я больше ничего в это выражение не вкладываю. Далее, что касается термина *полярность*, то в настоящее время я под этим понимаю только такое распределение силы, вследствие которого одна и та же молекула в различных точках приобретает различные свойства. Самый способ, каким производится это распределение, будет рассмотрен ниже; по всей вероятности, он различен для различных тел, создавая таким образом разнообразие электрических свойств.¹ В данный момент я озабочен лишь тем, чтобы в эти выражения, которыми я пользуюсь, не вкладывалось специального значения больше, чем я предполагаю. Я уверен, что дальнейшие исследования позволят нам постепенно все более и более суживать их смысл, и, таким образом, придавать объяснению электрических явлений с каждым днем все больше определенности.

1305. Для проверки правильности моих взглядов я на протяжении всего этого экспериментального изучения вопроса сравнивал их с заключениями, выведенными г. Пуассоном в его прекрасных математических исследованиях.² Я совсем не компетентен судить об этих превосходных статьях, но, насколько я понимаю, предложенная мною теория и полученные мною результаты не противоречат тем из его заключений, которые в немногих из рассмотренных случаях касаются окончательного расположения и состояния сил. Способ действия, который при индукции предполагает теория Пуассона, сильно отличается от того, который имею смелость предлагать я; его теорию, по всей вероятности, можно было бы проверить математически, если применить ее к случаям индукции по кривым линиям. На мой взгляд, она является недостаточной для объяснения того, как электричество удерживается на поверхности проводников давлением воздуха,—

¹ Mémoires de l'Institut, 1811, XII, стр. 1 (в другом счете страниц — стр. 163).

² См. теперь п. 1685 и т. д. Дек. 1838 г.

явление, которое, как я надеюсь показать, представляется простым и не противоречит с выдвигаемой здесь точкой зрения; ¹ далее, она не касается гальванического электричества и никоим образом не связывает его общим началом с тем, что мы называем обыкновенным электричеством.

С некоторым беспокойством я просматривал также результаты, полученные этим неутомимым ученым — Гаррисом — в его исследованиях о законах индукции, ² так как я знал, что эти результаты — экспериментальные, и был вполне убежден в их точности; но, к счастью, в настоящий момент я не вижу никакого противоречия между ними и принятыми мною взглядами.

1306. И, наконец, я хотел бы сказать, что, выдвигая свое личное мнение, я делаю это не без сомнения; я боюсь, сможет ли оно выдержать испытание всестороннего изучения, ибо если оно не соответствует истине, то лишь затруднит развитие учения об электричестве. Оно возникло во мне уже давно, но я до сих пор колебался опубликовать его, и только теперь моя уверенность в его согласии со всеми известными фактами возросла в достаточной степени; равно то, как оно связывает совершенно, повидимому, разнородные явления, побудило меня написать настоящий доклад. До сих пор я не вижу противоречий между ним и природой, а наоборот, думаю, что оно в значительной степени прольет новый свет на ее проявления; следующие мои доклады будут посвящены обзору явлений проводимости, электролиза, тока, магнетизма, сохранения заряда, разрядов и некоторых других вопросов, с применением данной теории к этим явлениям и проверкой ее при их помощи.

*Королевский институт.
16 ноября 1837 г.*

¹ См. пп. 1377, 1378, 1379, 1398. Дек. 1838 г.

² *Philosophical Transactions*, 1834, стр. 213.

Добавление к «Экспериментальным исследованиям по электричеству», одиннадцатая серия

Поступило 29 марта 1838 г.

1307. Недавно я осуществил на опыте ту установку для решения вопроса об *удельной индуктивной способности*, которая предложена в п. 1252 одиннадцатой серии; полученный мной результат дает мне надежду, что Совет Королевского общества разрешит мне присоединить его к докладу в виде добавления.

Три круглых латунных пластинки диаметром дюймов по пяти были установлены рядом на изолирующих стойках; средняя *A* была укреплена неподвижно, а наружные пластины *B* и *C* могли двигаться на салазках так, что поверхности всех трех можно было привести почти что в полное соприкосновение или же, наоборот, раздвинуть их на любое требуемое расстояние. В стеклянном сосуде на изолированных проводах было подвешено два золотых листочка; одна из внешних пластин *B* была соединена с одним золотым листочком, а другая — с другим. Наружные пластинки *B* и *C* были установлены на расстоянии одного с четвертью дюйма от средней пластинки *A*, а золотые листочки стояли на расстоянии двух дюймов друг от друга; затем *A* был сообщен слабый электрический заряд, а пластины *B* и *C* с их золотыми листочками были *одновременно* выведены из изоляции, а затем оставлены изолированными. При таких условиях *A* была заряжена положительно и действовала индуцирующим образом на *B* и *C*, которые путем индукции заряжались отрицательно; в обоих промежутках находился один и тот же диэлектрик — воздух, и золотые листочки, конечно, свешивались параллельно друг к другу, находясь в относительно ненаэлектризованном состоянии.

1308. Шеллаковая пластинка толщиной в три четверти дюйма и площадью в четыре квадратных дюйма была подвешена на чистом белом шелковом шнурке, и с нее был тщательно снят всякий заряд (1203); после этого она не производила никакого действия на золотые листочки, если *A* не была заряжена. Затем она была введена между пластинками *A* и *B*; электрическое отношение

между тремя пластинками немедленно изменилось, и золотые листочки стали притягиваться друг к другу. При удалении шеллака это притяжение прекращалось; при введении его между *A* и *C* оно наблюдалось вновь; при удалении его притяжение снова прекращалось, и, тем не менее, при исследовании шеллака с помощью чувствительного электрометра Кулона он оказывался незаряженным.

1309. Так как *A* была заряжена положительно, то *B* и *C* были, конечно, отрицательны; поскольку удельная индуктивная способность шеллака примерно в два раза больше, чем для воздуха (1270), можно было ожидать, что при введении шеллака между *A* и *B*, *A* будет индуцировать по направлению к *B* сильнее, чем по направлению к *C*, что поэтому *B* окажется по направлению к *A* более отрицательной, чем раньше, а так как она изолирована, то, значит, окажется положительной по направлению кнаружи, т. е. на своей обратной стороне или у золотых листочков; в то же время *C* должна бы стать менее отрицательной по направлению к *A*, а поэтому отрицательной по направлению кнаружи, т. е. у золотых листочков. Так это и было на деле; с какой бы стороны от *A* ни вносить шеллак, наружная пластина по эту сторону оказывается положительной, а наружная пластина по другую сторону — отрицательной как по отношению друг к другу, так и по отношению к неизолированным внешним телам.

1310. Когда я брал вместо шеллака серу, получались такие же результаты, согласные с ранее приведенными (1276) заключениями о высокой удельной индуктивной способности этого вещества.

1311. Эти действия удельной индуктивной способности могут быть усилены разнообразными путями, и именно это свойство дает прибору высокую ценность. Так, я вводил шеллак между *A* и *B*, затем на момент соединял *B* и *C*, отводил их к земле и, наконец, оставлял их в изолированном состоянии; золотые листочки при этом, конечно, свешивались параллельно друг к другу. При удалении шеллака золотые листочки притягивались

друг к другу; при введении шеллака между *A* и *C* это притяжение усиливалось (как и было предвидено теорией), и листочки сходились, хотя длина их была не более четырех дюймов, и они висели на расстоянии трех дюймов друг от друга.

1312. Простым сближением золотых листочков мне удалось показать различие между удельными индуктивными способностями, и я пользовался только тонкими шеллаковыми пластинками, а остальное изолирующее пространство было заполнено воздухом. Приближением пластинок *B* и *C* к *A* достигалось дальнейшее крупное повышение чувствительности. Увеличение размеров пластинок повышало эту силу еще более. Дальнейшее улучшение получалось в результате укорачивания проводов и т. п., соединенных с золотыми листочками. Таким образом фактически золотые листочки оказались таким же чувствительным прибором для испытания *удельного индуктивного действия*, каким они являются в электрометрах Беннета (Bennet) и Зингера (Singer) по отношению к обычному электрическому заряду.

1313. Очевидно, что если превратить эти три пластинки в стенки камеры, с соблюдением надлежащих предосторожностей в отношении изоляции и т. д., то этим прибором можно воспользоваться для изучения газов с значительно большим эффектом, чем с прежним прибором (1187, 1290); он, может быть, выявил бы различия, которые до сих пор от меня ускользали (1292, 1293).

1314. Несомненно также, что для такого прибора вполне достаточно двух пластинок; состояние единственной пластинки, подвергаемой индукции при замене диэлектрика, можно исследовать либо посредством поднесения к ее золотым листочкам тела, назлектризованного определенного рода электричеством, либо, что пожалуй еще лучше, посредством не листочков, а шарика-передатчика, с исследованием этого шарика с помощью электрометра Кулона (1180). Индуцирующая и индуцируемая поверхности могут представлять собой и шары; индуцируемая поверхность может сама служить шариком-передатчиком электрометра Кулона (1181, 1229).

1315. Для усиления действия можно с успехом пользоваться небольшим конденсатором. Так, если при двух индуцируемых пластинках на место золотых листочков поместить небольшой конденсатор, то, я не сомневаюсь, диаметр трех главных пластинок можно будет уменьшить до одного или даже до половины дюйма. Самые листочки временно действуют друг на друга как пластинки конденсатора. Когда мы пользуемся только двумя пластинками, при надлежащем приложении конденсатора возможно такое же уменьшение размеров. Это ожидание полностью оправдывается полученным и описанным ранее действием (1229).

1316. В этом случае прибор, очевидно, пригоден для весьма обширных исследований. Можно было бы исследовать относительно небольшие массы таких диэлектриков, как алмаз и кристаллы. Можно было бы проверить, действительно ли удельная индуктивная способность кристаллов будет меняться в различных направлениях, в зависимости от того, как расположены линии индуктивной силы (1304): параллельно осям кристаллов или как-нибудь иначе.¹

Как только мне позволит время, я намереваюсь проверить как эти, так и многие другие соображения, возникающие в связи с удельным индуктивным действием и полярностью частиц диэлектрического вещества.

1317. В надежде, что этот прибор окажется полезным, я хочу предложить для него, по совету одного из моих друзей, название *дифференциального индуктометра*.

Королевский институт.

29 марта 1838 г.

¹ В отношении этого исследования см. п. 1689 по 1698. Дек. 1838 г.

ДВЕНАДЦАТАЯ СЕРИЯ

Раздел 18. Об индукции (продолжение). Глава VII. Проводимость, или кондуктивный разряд. Глава VIII. Электролитический разряд. Глава IX. Разрывной разряд и изоляция. Электрическая искра или вспышка. Электрический кистевой разряд. Различие между разрядами у положительной и отрицательной поверхностей проводников.

Поступило 11 января. Доложено 8 февраля 1838 г.

1318. Согласно своему обещанию, я перехожу теперь к проверке, на основе относящегося к учению об электричестве обширного фактического материала, той теории индукции, которую я имел смелость выдвинуть (1165, 1295 и т. д.). Принцип индукции имеет настолько общий характер, что охватывает все электрические явления, но тот вид их, к рассмотрению которого я предполагаю перейти в настоящий момент, заключается в изолирующем действии; последнее имеет свое продолжение в явлениях, заканчивающихся разрядом с сопровождающими его действиями. Этот вид охватывает разнообразные *способы* разряда, а также состояние и свойства, которые характерны для тока; к последним, между прочим, относятся элементы магнитного действия. Я по необходимости буду в некоторых случаях говорить теоретически и даже гипотетически, и хотя я стремлюсь к тому, чтобы настоящие доклады представляли собой экспериментальные исследования, но я прошу принять во внимание факты и исследования, собранные в последних сериях в пользу выдвинутой мною особой точки зрения; я надеюсь, что меня не обвинят в данном случае в излишней вольности или слишком сильном уклоне-

ний от того характера, который полагается придавать докладам; тем более, что я буду пользоваться каждым удобным случаем, который только представится, и буду прибегать к тому строгому испытанию истины, каким является опыт.

1319. До сих пор индукция в настоящих докладах рассматривалась только в случаях изоляции; противоположностью изоляции является *разряд*. То действие или явление, которое обозначается общим термином *разряд*, может, насколько нам в настоящее время известно, происходить различными способами. То, что называется просто *проводимостью*, не влечет за собой ни химического действия, ни, повидимому, смещения принимающих в нем участие частиц. Второй вид можно назвать *электролитическим разрядом*; в нем происходит химическое действие, и частицы должны в некоторой степени смещаться. Третий вид, а именно искровой и кистевой разряды, можно, по причине сильного смещения частиц *диэлектрика* на его пути, назвать *разрывным разрядом*; четвертый, пожалуй, было бы удобно обозначить пока словами *конвекция*, или *разряд путем переноса*; в нем разряд осуществляется переносом частиц твердого тела или частиц газов и жидкостей. Возможно, что в будущем все эти виды можно будет свести к одному общему началу, но в настоящий момент их следует рассматривать отдельно; сейчас я буду говорить о *первом* виде, ибо среди всех форм разряда, тот, который мы обозначаем термином «проводимость», представляется наиболее простым и образует самый яркий контраст с изоляцией.

ГЛАВА VII

Проводимость, или кондуктивный разряд

1320. Хотя изолирующее действие и проводимость предполагаются существенно различными, тем не менее, ни Кэвендиш, ни Пуассон не делают попытки объяснить с помощью своих теорий или хотя бы изложить в них, в чем заключается это существенное различие. Может быть, и мне нечего предложить в этом отношении, за исключением того, что, согласно моему

представлению об индукции, изолирующее действие и проводимость обусловлены одним и тем же молекулярным действием соответствующего диэлектрика, что они представляют собой лишь крайние степени *одного общего состояния* или действия, и что во всякой исчерпывающей математической теории электричества они должны рассматриваться как частные случаи одного и того же рода. Отсюда ясно, насколько важной являлась бы попытка показать связь между ними с точки зрения моей теории электрических взаимоотношений между смежными частицами.

1321. Хотя роль изолирующего диэлектрика в заряженной лейденской банке и роль разряжающего ее провода могут казаться весьма различными, их все же можно связать многочисленными промежуточными звеньями, которые ведут от одной к другому и осуществляют необходимую связь, как мне кажется, с совершенной полнотой. В целях ознакомления с этим родом явлений во всей их целостности мы можем последовательно рассмотреть некоторые из этих звеньев.

1322. Спермацет уже был исследован ранее и оказался диэлектриком, в котором может иметь место индукция (1240, 1246); при этом его удельная индуктивная способность составляет приблизительно 1,8 или несколько выше (1279); индуктивное действие в нем, как и во всех других веществах, рассматривалось как действие смежных частиц.

1323. Однако спермацет является также и *проводником*, хотя в такой слабой степени, что мы имеем возможность проследить процесс проводимости через его массу в некотором роде шаг за шагом (1247); даже когда электрическая сила проникла в него на некоторую глубину, мы можем, удалив задерживающую силу, которая в то же время является и индуктивной, заставить ее возвратиться обратно и снова проявиться на прежнем месте (1245, 1246). Здесь индукция, видимо, является необходимой предварительной стадией проводимости. Она сама приводит смежные частицы диэлектрика в некоторое состояние, которое, если оно удерживается ими, является основой изолирующего дейст-

вия; если же оно ослабляется вследствие передачи силы от одной частицы к другой, то составляет явление *проводимости*.

1324. *Стекло* или *шеллак* проявляют ту же способность претерпевать либо индукцию, либо проводимость (1233, 1239, 1247), но не в одинаковой степени. Проводимость почти исчезает (1239, 1242), а индукция, следовательно, поддерживается, т. е. сохраняется поляризованное состояние, в которое смежные частицы были приведены индуктивной силой; разрядное действие между ними оказывается незначительным, вследствие чего *изолирующее действие* продолжается. Но поскольку разряд здесь происходит, он, повидимому, является следствием того состояния частиц, в которое их приводит индукция; таким образом оказывается, что обычные явления изоляции и проводимости друг с другом тесно связаны, или, вернее, представляют собой предельные случаи одного и того же состояния.

1325. Лед и вода проводят лучше, чем спермацет, и поэтому явления индукции и изоляции в них быстро исчезают, так как за приходом в индуктивное состояние быстро следует проводимость. Но пусть на пластинке из охлажденного льда имеются по бокам металлические обкладки; соединим одну из них с мощной электрической машиной в действии, а другую — с землей; тогда явления индукции во льду легко будет наблюдать благодаря электрическому напряжению, которое можно получить и поддерживать на двух обкладках (419, 426). Правда, часть той силы, которая в некоторый момент сообщила частицам индуктивное состояние, в ближайший момент ослабляется последующим разрядом, действием проводимости, но она сменяется другой порцией силы от машины, восстанавливающей это индуктивное состояние. Если превратить лед в воду, то почти так же легко доказать существование такой же последовательности явлений; необходимо только, чтобы вода была дистиллирована. Далее, если машина окажется недостаточно мощной, необходимо воспользоваться гальванической батареей.

1326. Все эти соображения внушают мне уверенность в том, что невозможно провести резкую грань между явлениями изоля-

ции и обыкновенной проводимости, если мы хотим заглянуть в самую их природу, т. е. в тот общий закон или законы, которыми определяется происхождение этих явлений. Мне представляется, что они заключаются в действии смежных частиц, зависящем от сил, которые развиваются при электрическом возбуждении; эти силы приводят частицы в состояние напряжения, или полярности, которое и составляет явления как *индукции*, так и *изоляции*; находясь в этом состоянии, смежные частицы обладают свойством или способностью передавать друг другу свои силы, вследствие чего последние ослабляются, и происходит разряд. Повидимому, к разряду способно всякое тело (444, 987), но различные тела обладают этой способностью *в большей или меньшей степени*, и это то и делает их лучшими или худшими проводниками, худшими или лучшими изоляторами; по своей природе и действию *индукция и проводимость*, повидимому, одинаковы (1320); единственное различие заключается в том, что при проводимости общее для обоих явлений действие достигает крайнего предела, в индукции же оно, в лучшем случае, проявляется в количествах, почти неощутимых.

1327. Если мы хотим проникнуть в природу электрического действия и вывести законы более общие, чем те, которые известны нам в настоящее время, мы должны стараться сопоставлять в гармоническом сочетании самые противоположные по виду явления. Таково давно установившееся убеждение, санкционированное самыми выдающимися учеными. Я смею думать поэтому, что моя попытка рассматривать случаи наиболее высокой проводимости, как аналогичные явлениям индукции и изоляции и даже однородные с ними, является вполне извинительной.

1328. Если принять, что незначительное проникновение электричества внутрь серы (1241, 1242) или шеллака (1234), равно как и более низкие изолирующие свойства спермацета (1279, 1240), являются существенным следствием их *проводимости* и доказательством существования последней, то сопротивление металлических проводов прохождению сквозь них электричества можно рассматривать как *свойство изоляции*.

Из многочисленных общеизвестных примеров, доказывающих существование сопротивления в так называемых совершенных проводниках, моей настоящей цели лучше всего отвечают опыты профессора Уитстона, так как они были произведены в таком виде, чтобы доказать, что даже в случае металлов в условия проводимости входит как элемент *время*.¹ Когда разряд производился через медный провод длиной в 2640 футов и диаметром 1/15 дюйма, и притом таким образом, что можно было наблюдать с одного места яркие искры на каждом из концов провода и в середине его, то последняя заметно отставала во времени от первых двух, которые по условиям опыта были одновременными. Вот доказательство запаздывания. А какие доводы можно привести против того, что это запаздывание того же рода, что и в спермацете, шеллаке, меди? Но так как в этих последних веществах запаздывание обозначает изоляцию, а изоляция — индукцию, то почему нам не предположить такой же связи при проявлениях силы в металлах?

1329. Опыт показывает, что с течением *времени* эта замедляющая сила постепенно преодолевается, и что таким же образом ведут себя спермацет, шеллак и стекло (1248); дайте только срок, соответствующий замедляющей силе, и последняя в конце концов будет преодолена. Но если это так и все результаты оказываются одинаковыми по своему характеру, отличаясь лишь длительностью срока, то почему отказываться от мысли, что и металлам свойственно предварительное индуктивное действие, существование которого в других телах мы признаем? Уменьшение срока отнюдь не является отрицанием этого действия, равно как и то обстоятельство, что для продвижения силы по металлу требуется более низкая степень напряженности по сравнению с той, которая нужна в случае воды, спермацета или шеллака. Эти различия указывают лишь на то, что в металлах находящиеся под влиянием индукции частицы могут передавать свои силы при более низкой степени напряжения или

¹ Philosophical Transactions, 1834, стр. 583.

полярности и с большей легкостью, чем в случае других веществ.

1330. Рассмотрим прекрасный опыт г. Уитстона с другой точки зрения. Оставим без изменения среднюю часть и оба конца длинного медного провода, удалим обе промежуточные части и заменим их проводами из железа или платины; тогда получится значительно большее запаздывание средней искры, чем ранее. Удалим железо и включим вместо него всего пять или шесть футов воды, налитой в цилиндр такого же диаметра, что и металл; получится еще большее запаздывание. Если от воды мы перейдем к спермацету, все равно — непосредственно или постепенно через другие вещества (здесь пришлось бы, может быть, значительно увеличить толщину, чтобы избежать появления искры в каких-либо других участках помимо трех указанных выше), то получится еще большее запаздывание; в конце концов мы достигнем действительной и прочной изоляции, и переходы будут настолько незначительны, что одна стадия от другой будет неотделима. Что же в таком случае отделяет друг от друга сущность этих двух крайностей — совершенной проводимости и совершенной изоляции? Ведь если мы хоть в малейшей степени допустим совершенство на одном из концов, то получается элемент этого совершенства на другом, тем более, что в природе мы не имеем совершенства ни на том, ни на другом конце, ни в смысле проводимости, ни в смысле изоляции.

1331. Вернемся опять к этому прекрасному опыту в тех разнообразных видах его, которые можно ему дать; после того как силы покинули лейденскую банку, они в течение всего промежутка времени, занятого разрядом (1328), находятся в проводе не целиком; отчасти они сосредоточены в окружающем диэлектрике в виде известной всем индукции; и если этим диэлектриком является воздух, то индукция проходит от провода через воздух к окружающим проводникам до тех пор, пока концы провода не окажутся электрически связанными через весь провод; тогда произойдет разряд. Это как раз тот промежуток *времени*, на который центральная искра запаздывает по сравнению с осталь-

ными. Это хорошо доказывается старым опытом, в котором длинный провод изогнут так, что два участка его (рис. 120) *a* и *b* вблизи от концов подходят друг к другу на небольшое расстояние по воздуху — с четверть дюйма. Если пропускать через такой провод разряд от лейденской банки, заряженной достаточно сильно, то значительно большая часть электричества будет проскакивать в виде искры через воздушный промежуток, а не через металл. Не действует ли здесь средняя часть провода как изолирующая среда, хотя она и состоит из металла? И не является ли эта искра через воздух указанием на наличие напряжения (одновременно с *индукцией*) электричества у конца этого

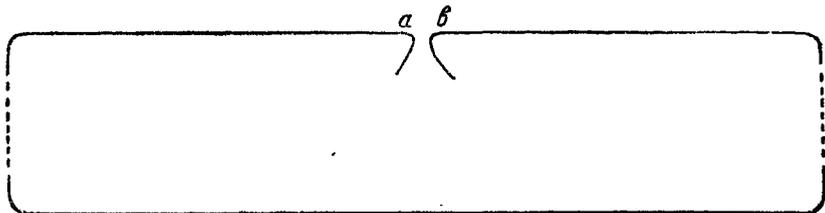


Рис. 120.

уединенного провода? Почему не считать и провод и воздух диэлектриками, а действие, в его начальный момент, когда налицо имеется напряжение, индуктивным действием? Если это действие происходит по изогнутым линиям провода, то таким же образом оно происходит и по кривым и изогнутым линиям через воздух (1219, 1224, 1231) и другие изолирующие диэлектрики (1228); повидимому, можно идти в этой аналогии очень далеко, если ограничиваться пока только случаем индуктивного действия, и можно даже показать, что среди изолирующих диэлектриков одни отводят линии силы от других (1229), как их отводит провод от менее совершенных проводников; правда, в проводе основное действие несомненно обусловлено легкостью разряда между частицами при низкой степени напряжения. Задержка представляет собой временную изоляцию, и как

мы можем, согласно исследованиям Кулона,¹ сравнивать для различных изолирующих тел те *различные длины*, которые необходимы, чтобы произвести одинаковое изолирующее действие, так, думается мне, мы можем сравнивать воздух в промежутке *a, b* (рис. 120) и провод в цепи как два тела одного и того же рода и действующие по одному и тому же принципу, поскольку дело идет о первых индуктивных действиях — независимо от того, какие различные виды разряда затем последуют.²

1332. Это сравнение становится еще более разительным, если принять во внимание опыт г. Гарриса; в этом опыте он протягивал тонкий провод через стеклянный шар; воздух в шаре был разрежен.³ При пропускании заряда через эту совокупность металла и разреженного воздуха через последний проходило столько же электричества, как через первый, а, может быть, и больше. В воздухе, хотя бы и разреженном, разряду несомненно предшествовала индукция (1284); но, я думаю, все обстоятельства указывают, что то же самое имело место и в металле; фактически оба вещества являются диэлектриками и обнаруживают одни и те же явления при действии одних и тех же причин; все же различие при опытах с различными веществами заключается только в степени.

1333. Если исходить из таких положений, то скорость разряда через *один и тот же провод* можно в значительной степени менять, изменяя те условия, которые вызывают различия при разряде через спермацет или серу. Так, например, скорость разряда должна меняться в зависимости от напряжения или интенсивности начальной побуждающей силы (1234, 1240); это напряжение — все равно, что заряд и индукция. Пусть, например, оба конца провода в опыте проф. Уитстона будут непосредственно соединены с двумя большими изолированными металлическими поверхностями, обращенными к воздуху; тогда при замыкании

¹ Mémoires de l'Académie, 1785, стр. 612 или Encyclopaedia Britannica, 1-е дополн., I, стр. 611.

² Эти виды разряда будут рассмотрены ниже (1348 и т. д.).

³ Philosophical Transactions, 1834, стр. 242.

контакта для разряда первоначальное действие индукции в первый момент отчасти не будет допущено к внутренней части провода и временно распределится на его общей с воздухом поверхности и на окружающих проводниках, и я, не колеблясь, предсказываю, что средняя искра будет запаздывать сильнее, чем раньше; а если эти две пластинки будут представлять собой внутреннюю и внешнюю обкладки большой лейденской банки или батареи, то запаздывание искры будет еще большим.

1334. Кэвендиш, кажется, первый отчетливо показал, что разряд не всегда проходит по одному каналу,¹ и что если таковых имеется больше, то он проходит сразу через несколько. Эти различные каналы мы можем устроить посредством разных тел; соразмеряя их толщину и длину, можно включить сюда такие вещества, как воздух, шеллак, спермацет, вода, протоксид железа, железо и серебро, и тогда при *одном* разряде каждое из них будет проводить свою часть электрической силы. Может быть, воздух следовало бы исключить, поскольку в нем разряд путем проводимости ставится в настоящее время под сомнение (1336), но всем остальным веществам в отношении способа их разряда можно приписать чистую проводимость. Но ведь некоторые из них предварительно претерпевают индукцию, в точности такую, как индукция через воздух; эта индукция является необходимым предварительным условием их разрядного действия. Можно ли при этих условиях различать тела в отношении *закона* и *способа* их изоляции и проводимости иначе, как по величине этих свойств? Все они представляются мне диэлектриками, действующими одинаковым образом и по одним и тем же общим законам.

1335. Я мог бы привести другой довод в пользу тождества в смысле природы и действия и хороших и плохих проводников (а все упомянутые мною вещества в большей или меньшей степени являются проводниками); для этого я могу указать на полную тождественность в действии весьма различных тел, если

¹ Philosophical Transactions, 1776, стр. 197.

сравнивать их друг с другом в отношении их магнито-электрического индуктивного действия, описанного ранее (213), но мне бы хотелось быть настолько кратким, насколько это совместимо с ясным разбором того, насколько правильны мои взгляды.

1336. Вопрос о том, обладают ли и газы какой-либо проводимостью того несложного рода, который здесь нами рассматривается, в настоящий момент разрешить очень трудно. Опыты как будто указывают, что при некоторых низких степенях напряжения газы изолируют в совершенстве, и что те явления, которые казались зависящими от *проводимости*, оказывались результатом переноса электричества заряженными частицами воздуха или содержащейся в нем пыли. Однако не менее достоверно и то, что при более высоких степенях напряжения или заряда от частицы к частице происходит разряд, а это и есть проводимость. Если газы при определенной низкой степени напряжения обладают способностью изолировать длительно и совершенно, то такой результат, может быть, обусловлен их особым физическим состоянием и тем, что их частицы разделены друг от друга известными расстояниями. Но ни в этом, ни в других случаях не следует забывать о прекрасных опытах Каньяр де ля Тура,¹ в которых он показал, что жидкости и их пары можно постепенно переводить друг в друга вплоть до полного исчезновения заметного различия между этими двумя состояниями. Таким образом сухой горячий пар и холодная вода переходят друг в друга путем незаметных градаций; однако первый как газ относится к изоляторам, а второй является сравнительно хорошим проводником. Таким образом в смысле проводимости переход от металлов вплоть до самых газов совершается постепенно; вещества образуют в этом отношении единый ряд, и все разнообразные случаи должны быть подчинены одинаковым условиям и законам (444). Специфические различия веществ в отношении проводимости служат лишь подкреплением того общего положения, что проводимость, так же

¹ *Annales de Chimie*, XXI, стр. 127, 178; или *Quarterly Journal of Science*, XV, стр. 145.

как изоляция, является результатом индукции и представляет собой действие смежных частиц.

1337. Я мог бы перейти теперь к рассмотрению индукции и сопутствующей ей *проводимости* через смешанные диэлектрики; таков, например, случай, когда заряженное тело вместо того, чтобы действовать на удаленный неизолированный проводник через воздух, действует одновременно через воздух и через промежуточный изолированный проводник. В таком случае воздух и проводящее тело представляют собой смешанный диэлектрик; проводник как целое принимает состояние поляризации, подобное тому, которым, согласно моей теории, в это же время обладает *каждая частица* воздуха (1679). Но при настоящем состоянии предмета я боюсь наскучить этими подробностями и спешу перейти к рассмотрению других вопросов.

1338. Чтобы в некоторой мере подвести итог сказанному, укажу, что, по моим представлениям, первоначальное действие наэлектризованного тела на соседние тела заключается в приведении их частиц в поляризованное состояние, которое и составляет индукцию; возникает индукция благодаря действию тела на те частицы, которые непосредственно с ним соприкасаются, и которые, в свою очередь, действуют на смежные с ними; таким образом сила передается на расстояние. Если индукция не ослабевает, то следствием является совершенная изоляция; чем выше поляризованное состояние, которое могут приобретать или удерживать частицы, тем выше напряжение, которое может быть сообщено действующим силам. Наоборот, если расположенные рядом частицы, приобретя поляризованное состояние, оказываются способными передавать свои силы, то возникает проводимость, и напряжение понижается; т. е. проводимость является отчетливо ясным разрядом между соседними частицами. Чем ниже состояние напряжения, при котором происходит этот разряд между частицами тела, тем лучшим проводником оно является. С этой точки зрения можно сказать, что изоляторами являются те вещества, частицы которых могут удерживаться в поляризованном состоянии, а проводниками — те, частицы

которых не могут оставаться устойчиво поляризованными. Если я прав в своем представлении об индукции, то сведение этих двух явлений (которые так долго считались различными) к действию смежных частиц, подчиненному одному общему закону, представляется мне результатом большой важности; с другой стороны, сходство, которое оба они приобретают с точки зрения этой теории (1326), является лишним доказательством правильности последней.

1339. Известно, что теплота оказывает сильное влияние на обычную проводимость (445), причем в некоторых случаях она приводит к почти полному изменению свойств тела (432, 1340). Гаррис, однако, показал, что она совсем не действует на газообразные тела, по крайней мере на воздух; ¹ Дэви учит, что все металлы как класс при этом свою проводимость *уменьшают*.²

1340. Я ранее описал одно вещество — сернистое серебро, проводимость которого с нагреванием увеличивается (433, 437, 438), а с тех пор нашел еще другое, на которое теплота действует таким же образом и так же сильно; это фторид свинца. Если ввести в цепь гальванической батареи кусок этого вещества, предварительно расплавив и потом охладив его, ток прекращается. При нагревании он приобретает проводимость раньше, чем доходит до красного каления, заметного при дневном свете; пока он находится еще в твердом состоянии, из него можно даже извлекать искры. В дальнейшем ток уже сам по себе повышал температуру этого соединения (как и в случае сернистого серебра) вплоть до момента плавления, после чего оно, повидимому, проводило так же хорошо, как содержащий его сосуд, ибо, независимо от того, чего касался взятый для замыкания цепи провод: только расплавленного фторида или же платины, на которой он лежал, заметного различия в силе тока не было. В течение всего времени наблюдались едва одни следы разлагающего действия

¹ Philosophical Transactions, 1834, стр. 230.

² Там же, 1821, стр. 431.

во фториде, и те, что возникали, видимо, можно было отнести за счет воздуха и влажности атмосферы, а не за счет электрического действия.

1341. В настоящее время я очень мало сомневаюсь в том, что периодид ртути (414, 448, 691), а также сулема (692) представляют собой примеры такого же рода. С тех пор как я произвел вышеупомянутые опыты, я склонен также думать, что наблюдавшееся и описанное ранее аномальное поведение протоксида сурьмы можно приписать той же причине.

1342. В настоящее время я не намерен входить в подробное рассмотрение взаимоотношений между теплотой и электричеством, но можно надеяться, что в будущем в результате опыта будет открыт тот закон, который, вероятно, объединяет в одно целое все описанные действия, а также явления *выделения и исчезновения* тепла под действием тока вместе с поразительными и прекрасными явлениями термо-электричества.

ГЛАВА VIII

Электролитический разряд

1343. В одном из прежних докладов (1161) я уже высказывал взгляд, при помощи которого я надеюсь связать обыкновенную индукцию и электролиз. Согласно этому представлению, разряд электрических сил путем электролиза представляет собой, по всей вероятности, явление, которое в определенной категории веществ прибавляется к описанным под именем индукции и изоляции, и не является действием, не зависящим и отличным от них.

1344. В отношении изолирующих и проводящих свойств электролиты не отличаются от других веществ (1320, 1334); находясь в твердом состоянии (ибо почти все они могут придти в это состояние), они сохраняют свои свойства и не обнаруживают при этом никакого нового явления (426 и т. д.), а если это и наблюдается, то в такой незначительной степени, что должно быть признано несущественным. Если подвергнуть их сжижению, электролиты также сохраняют свое место среди других веществ,

пока электрическое напряжение остается ниже определенного предела; но при некотором напряжении, постоянном для каждого из них и во всех известных случаях очень низком (910, 912, 1007), они начинают играть новую роль, производя разряд параллельно с развитием определенных химических действий соединения и разложения; с этого момента они выделяются из ряда обычных изоляторов и проводников и образуют некоторый отличный от них самостоятельный класс веществ. Первые из этих явлений уже рассматривались (1320, 1338); теперь надлежит пересмотреть последние и воспользоваться ими для проверки предложенной теории индукции.

1345. Эта теория предполагает, что частицы диэлектрика (в данном случае электролита) в первый момент приводятся обыкновенным индуктивным действием в поляризованное состояние; последнее достигает определенной степени напряжения или интенсивности прежде чем наступает разряд; это индуктивное состояние является на деле *необходимым предварительным условием* для разряда. Если удачно воспользоваться теми условиями, которые имеют здесь значение, нетрудно повысить напряжение, характерное для этого состояния индукции, и таким образом сделать и самое состояние это более явным. Так, если взять дистиллированную воду и длинный, узкий столбик ее поместить между электродами мощной гальванической батареи, то сразу можно получить указания на то, какое напряжение можно поддерживать у этих электродов посредством индуктивного действия через воду как через диэлектрик, ибо от идущих от электродов проводов можно получать искры, расхождение золотых листочков и заряд лейденских банок. Вода, подобно спермацету (1322, 1323), является плохим проводником и плохим изолятором; но если она вообще изолирует, то исключительно вследствие индуктивного действия, и эта индукция подготавливает разряд и предшествует ему (1338).

1346. Индукция и напряжение, которые появляются на границах столбика воды в направлении тока, представляют собой лишь сумму тех индукций и напряжений, которые имеются на

смежных частицах между этими границами; а то, что индуктивное напряжение не превосходит известной величины, доказывает (в каждом отдельном случае на результат существенно влияет время), что, как только частицы приобретают определенное относительное состояние, происходит *разряд*, или передача сил, эквивалентная обычной проводимости.

1347. В том индуктивном состоянии, в какое приходит перед началом разряда вода, взятая в качестве диэлектрика, ¹ поляризованными являются частицы *воды*; но теперь разряд от частицы к частице уже не представляет собой, как раньше, простого обмена силами (или зарядами) у полярных частей, а действительное разделение частиц воды на две их элементарные составляющие: кислород, перемещающийся в одном направлении и несущий с собою соответственное количество силы, приобретенное им во время поляризации, и водород, прodelьывающий то же самое в противоположном направлении; в конце концов каждая из частиц встретит ближайшую частицу, находящуюся в таком же электрическом состоянии, как и та, которую она оставила; тогда их силы соединятся, вследствие чего и произойдет то, в чем заключается разряд. Эту часть действия можно рассматривать как перенос (1319, 1572, 1622), выполняемый частицами, составляющими диэлектрик. Последний всегда представляет собой сложное тело (664, 823), и те, кто занимался этим вопросом и знакомы с научным представлением о переносе, впервые предложенным Гротгусом, ² охотно сравнят частицы диэлектрика с целым рядом находящихся под индуктивным действием проводников, которые, находясь еще в этом состоянии, могут разделяться на такие элементарные подвижные половинки.

1348. Электролитический разряд неизбежно связан с непроводимостью диэлектрика, взятого в целом; процесс этот содержит две стадии или два действия: сначала происходит поляризация молекул вещества, а затем ослабление сил вследствие раз-

¹ См. pp. 1699—1708. Дек. 1838 г.

² *Annales de Chimie*, LVIII, стр. 60 и LXIII, стр. 20.

деления, продвижения в противоположных направлениях и соединения элементов молекул; эти элементы представляют собой в некотором смысле половинки первоначально поляризованных проводников, т. е. частиц.

1349. Эти представления о разложении электролитов и вытекающем отсюда явлении разряда в данном частном случае совпадают с взглядами Гротгуса (481) и Дэви (482), но отличаются от представлений Био (487), де ля Рива (490) и др.; они представляются мне вполне согласными не только с предложенной мною теорией индукции вообще (1165), но и со всеми известными *фактами* обыкновенной индукции, проводимости и электролитического разряда; вследствие этого они поддерживают во мне убеждение в справедливости выдвинутой теории. Новый вид разряда, который представляет собой электролиз, несомненно свидетельствует о *действии смежных частиц*; последнее же прямым образом связано с предварительным индуктивным состоянием, таким же, как в случае обыкновенной индукции. Все это значительно усиливает соображения, которые индукцию во всех случаях также приписывают влиянию смежных частиц (1295 и т. д.).

1350. В качестве иллюстрации поляризованного состояния частиц в диэлектрике, находящемся под действием индукции, я хочу описать один опыт. Нальем в стеклянный сосуд некоторое количество прозрачного очищенного скипидара и введем в него два провода, пропущенные через стеклянные трубки в тех местах, где они касаются поверхности жидкости, и заканчивающиеся либо шариками, либо остриями. Нарежем небольшое количество очень чистого сухого белого шелка на небольшие кусочки и опустим их также в жидкость; затем наэлектризуем один из проводов от обыкновенной машины, а другим проводом будем производить разряд. Шелк немедленно будет собираться отовсюду из жидкости и образует из частичек полосу от провода до провода; если касаться ее стеклянной палочкой, то она обнаруживает заметную прочность; но в первый же момент после прекращения притока электричества эта полоса распадается и исчезает вслед-

ствие рассеяния ее частей. *Проводимость* через шелк в данном случае очень мала, и после самого тщательного исследования этих явлений, которое мне удалось произвести, у меня создалось впечатление, что прилипание в целом объясняется полярностью, приобретаемой каждым волокном совершенно так же, как частицы железа между полюсами подковообразного магнита связываются в одну массу, и притом благодаря подобному же расположению сил. Таким образом частицы шелка, по моему мнению, дают собой картину состояния молекул самого диэлектрика, которое я считаю полярным, подобно состоянию шелка. Во всех случаях кондуктивного разряда смежные поляризованные частицы вещества способны с большей или меньшей легкостью производить нейтрализацию своих сил, что в очень слабой степени делает также и шелк. Провести параллель дальше мы не можем, разве что мысленно; но представим себе, что мы можем разделить каждую частицу шелка на две половины и предоставить каждой половине двигаться до тех пор, пока она не встретится с ближайшей половиной, находящейся в противоположном состоянии, и не объединится с ней; тогда она могла бы проявить способность к переносу (1347) и в этом смысле дала бы точную картину электролитического разряда.

1351. Если допустить, что электролитический разряд является следствием предварительной индукции, то с какой очевидностью отдельные случаи разряда прямо указывают на индукцию по кривым линиям (521, 1216) и на расхождение или боковое действие линий индуктивной силы (1231) и этим подкрепляют общие доводы, приведенные в предшествующем докладе! Если два платиновых шарика, образующих электроды гальванической батареи, погрузить в большой сосуд с разбавленной серной кислотой, то вся поверхность их покрывается соответствующими газами в изумительно закономерных соотношениях, и нетрудно составить себе представление о направлении кривых, по которым идет разряд, и даже о напряжении сил различных линий, по количеству газа, выделяющегося на различных участках поверхности. Этим состоянием линий индуктивной силы обуслов-

лены основные действия рассеяния, появление анионов и катионов по краям и на обратной стороне электродов, когда последние имеют форму пластин, и то, каким образом ток или разряд следует всякой сколь угодно изогнутой форме электролита. Этим объясняются также те явления, которые так хорошо изучил и описал Нобили¹ в своих докладах о распределении токов в проводящих массах. Все эти явления указывают на криволинейное направление токов или разрядов, которые возникают в диэлектриках или проходят сквозь них, и которым во всех случаях *предшествуют* эквивалентные индуктивные действия смежных друг с другом частиц.

1352. Этим также объясняется, почему в случае слабых или требующих поддержки возбуждающих сил выгодно увеличивать массу электролита, а также размеры электродов, окружать цинковые пластины медными; все это согласуется с тем представлением об индукции, которое я пытаюсь проверить; до сих пор я не нахожу ни одного противоречащего ему факта.

1353. В *электролитическом разряде* имеется много особенностей, которые впоследствии потребуют очень тщательного изучения, хотя я могу коснуться их только слегка. Я лишен возможности входить здесь в их рассмотрение не потому, что они, насколько я их исследовал, представляют какое-либо противоречие с принятыми мною представлениями (ибо я тщательно, хотя и безуспешно, искал именно таких случаев), а просто из-за недостатка времени для продолжения этого исследования.

1354. Одна из особенностей заключается в том, что начальное напряжение, которого требуют для своего разложения различные электролиты или диэлектрики, различно (912). Возможно, что это обстоятельство обусловлено степенью поляризации, которая требуется частицам для того, чтобы наступил электролитический разряд. Оно находится в прямом отношении с химическим сродством рассматриваемых веществ, и, по всей вероятности, для него удастся установить какую-либо связь или ана-

¹ Bibliothèque Universelle, 1835, LIX, стр. 263, 416.

логию с удельной индуктивной способностью различных тел (1252, 1296). Таким образом можно надеяться, что это обстоятельство поможет привести в больший порядок и систему, по сравнению с нынешними, великие истины, содержащиеся в тех обширных науках, которые заняты изучением сил между частицами вещества.

1355. Другая особенность заключается в увеличении электролитической проводимости или разряда путем добавки некоторых веществ к взятому для опыта диэлектрику. Это явление сказывается разительным образом, когда веществом, качества которого подлежат улучшению, является вода, но до сих пор не обнаружен тот общий закон, который управляет всеми этими явлениями. Так, некоторые кислоты, как серная, фосфорная, щавелевая и азотная, усиливают это свойство воды в огромной степени; наоборот, другие, как виннокаменная и лимонная, сообщают ей лишь небольшую проводимость; наконец, некоторые кислоты, как уксусная и борная, не вызывают заметного изменения в вольтметре (739). Аммиак не производит никакого действия, а его карбонат производит его. Едкие щелочи и их карбонаты производят отчетливое действие. Сильное действие производят сульфат натра, селитра (753) и многие растворимые соли. При испытании с помощью вольтметра перцианид ртути и сулема не дают никакого действия, равно и иод, смола и сахар. Во многих случаях добавленное вещество непосредственно или косвенно подвергается действию тока, и тогда явления становятся более сложными; к таким веществам относятся соляная кислота (758), растворимые протохлориды (766), иодиды (769), азотная кислота (752) и т. д. В других случаях добавляемое вещество само по себе не подвергается действию гальванической батареи и не является проводником для ее сил и, тем не менее, в присутствии воды сообщает и само приобретает силу. Г-н де ля Рив отметил такой результат для сернистой кислоты,¹ иода и

¹ Quarterly Journal, XXVII, стр. 407; или Bibliothèque Universelle, XI, стр. 205. Кемп говорит, что сернистая кислота является очень хорошим проводником (Quarterly Journal, 1831, стр. 613).

брома; ¹ такое же явление дает хлорид мышьяка. Еще более разительный пример представляет, однако, такое сильно подверженное влиянию тока вещество, как серная кислота (681); вероятно, так же своеобразно ведет себя фосфорная кислота.

1356. Казалось бы, что такие вещества, которые сами не претерпевают изменения (а может быть и все), действуют на проводимость воды лишь постольку, поскольку она является электролитом, ибо независимо от того, в какой мере усиливается разложение, оно остается пропорциональным количеству проходящего электричества (727, 730), и, таким образом, перенос обусловлен электролитическим разрядом. Это обстоятельство согласуется с фактом, установленным ранее в отношении воды (984), а именно: для электричества, сила которого ниже электролитического напряжения вещества, действующего в качестве диэлектрика, проводимость не улучшается; но оба эти факта (и некоторые другие) противоречат высказанному мною ранее мнению, что проводимость солей и т. п. обусловлена переходом их в жидкое состояние при растворении их во взятой для опыта воде (410). Мне кажется, что это явление, пожалуй, можно связать и объяснить различием удельных индуктивных способностей.

1357. В последнем докладе я описывал случаи, в которых шеллак становился проводником при поглощении аммиака (1294). Такое же явление имеет место с соляной кислотой; между тем, в газообразном состоянии оба эти вещества являются непроводниками, а аммиак не проводит и в крепком растворе (748). Г-н Гаррис приводил примеры, ² когда очень небольшая примесь значительно меняла проводимость металлов. Эти случаи могут и не иметь никакого отношения к предыдущим, но, тем не менее, ими не следует пренебрегать в том общем исследовании, которого требует данный вопрос в целом.

1358. Может быть, самым поразительным явлением для того класса диэлектриков, который мы называем электролитами, слс-

¹ Quarterly Journal, XXIV, стр. 465; или Annales de Chimie, стр. 161.

² Philosophical Transactions, 1827, стр. 22.

дует назвать необычайное и почти полное исчезновение характерного для них своеобразного способа производить разряд, которое наблюдается при переходе их в *твердое* состояние (380 и т. д.), если даже увеличивать действующую в них индукцию в сто и более раз (419). Это явление не только устанавливает весьма общую связь между физическими свойствами этих веществ и электричеством, действующим через них путем индукции, но и настолько сближает их химические и физические свойства, что дает нам право надеяться, что мы вскоре достигнем полного понимания того взаимного влияния, которым они обладают в отношении друг друга.

ГЛАВА IX

Разрывной разряд и изоляция

1359. Следующую форму разряда я охарактеризовал прилагательным «разрывной» (1319), так как он всегда в большей или меньшей степени смещает частицы, среди которых и через которые он внезапно пробивается. Сюда я отношу разряд в форме искр, кистевой и тлеющий разряды (1405), но исключаю потоки воздуха, жидких тел и т. п., которые хотя часто и сопровождают разрывной разряд, но по природе своей существенно отличаются от него.

1360. Условия, необходимые для получения электрической искры в ее простейшем виде, общеизвестны. Между двумя проводящими поверхностями находящимися в противоположных электрических состояниях, должен быть помещен изолирующий диэлектрик; если затем непрерывно усиливать действие или способствовать ему как-нибудь иначе, либо усиливая электрическое состояние обоих проводников, либо сближая их, либо уменьшая плотность диэлектрика, то в конце концов появляется *искра*, и обе силы временно уничтожаются, ибо произошел *разряд*.

1361. Проводниками (которые можно рассматривать как границы индуктивного действия) в обычных случаях служат чаще всего металлы, а как диэлектриками обычно пользуются обыкновенным воздухом и стеклом. Однако, при моем представлении

об индукции, приобретает значение всякий диэлектрик, ибо если считать, что результаты существенно зависят от этих веществ, то следовало ожидать, что при ближайшем рассмотрении выявятся такие различия в действии, о которых раньше никогда и не подозревали, и таким образом сразу получится новое подтверждение теории и будут даны новые пути для открытий в обширных и разнообразных областях нашего знания. Особенно большие надежды можно было питать в отношении газов, имея в виду высокую степень их изолирующей способности, однородность их физического состояния и значительное различие их химических свойств.

1362. Все предшествующие разряду явления имеют характер индуктивных, и поэтому степень напряжения, которой необходимо достигнуть для того, чтобы проскочила искра, является весьма существенным пунктом в проверке нового представления об индукции (чем я в данный момент занимаюсь). Эта степень является пределом влияния, которое оказывает диэлектрик, сопротивляясь разряду: следовательно, она является мерой задерживающей силы диэлектрика, которую, в свою очередь, можно принять за меру, а следовательно и выражение напряжения действующих электрических сил.

1363. Условия этого предельного действия в воздухе изучались многими учеными, но, насколько мне известно, никто не сравнился с г. Гаррисом в отношении точности и объема исследований.¹ Некоторые из его выводов я должен очень кратко привести: при этом я в самом начале укажу, что все они получены при условии, что *диэлектриком* между проводящими поверхностями служил воздух.

1364. Прежде всего о *расстоянии* между служившими для опытов шариками, или другими словами, о *толщине* диэлектрика, в котором поддерживалась индукция. Было обнаружено, что измеренное с помощью служившей единицей лейденской банки или другим способом, но на том же принципе единичной лейденской банки, количество электричества заряженного или

¹ Philosophical Transactions, 1834, стр. 225.

индуктивного шара, необходимое для искрового разряда, в точности пропорционально расстоянию между шарами или между разрядными острями, — и это при весьма разнообразных и точных видоизменениях опыта.¹

1365. Далее, по вопросу об изменении *давления* или *плотности* воздуха. Количества электричества, необходимые для получения разряда через *постоянный* промежуток, были в точности пропорциональны изменениям плотности: количество электричества и плотность находились в одинаковом простом отношении. Если же количество электричества оставалось неизменным, а изменялись воздушный промежуток и плотность воздуха, то оказывалось, что последние просто обратно пропорциональны друг другу, т. е. что при разрежении воздуха вдвое то же самое количество электричества проходит в два раза большее расстояние.²

1366. Следует помнить, что эти явления наблюдаются при отсутствии какого бы то ни было изменения *индуктивной* силы в результате сжатия или разрежения воздуха. Эта сила остается одинаковой в воздухе³ и во всех газах (1284, 1292) и не зависит от их разрежения.

1367. Изменение *температуры* воздуха не вызывало никакого изменения в количестве электричества, необходимом для разряда через данный промежуток.⁴ Таковы те из основных результатов, полученных г. Гаррисом, которые мне сейчас требуются; они представляются мне безупречными.

1368. В теории индукции, основанной на молекулярном действии диэлектрика, причину и источник вышеупомянутых явлений мы должны усматривать преимущественно в состоянии этого тела. Теория предполагает, что пока длится индукция, частицы диэлектрика находятся в некотором поляризованном состоянии, и напряжение этого состояния в каждой частице возрастает по мере того, как индукция повышается—все равно, каким

¹ Philosophical Transactions, 1834, стр. 225.

² Philosophical Transactions, 1834, стр. 229.

³ Там же, стр. 237, 244.

⁴ Там же, стр. 230.

образом: посредством приближения индуцирующих поверхностей, посредством изменения формы, увеличения первоначальной силы или другими способами; в конце концов, напряжение частиц достигает наивысшей степени, которую эти частицы могут еще выносить без разрушения всего расположения; тогда немедленно наступает разряд.

1369. Эта теория, впрочем, не предполагает, что *все* подвергаемые индуктивному действию частицы диэлектрика поддаются ему в одинаковой степени или приобретают одинаковое напряжение. То, что я называл боковым действием линий индуктивной силы (1231, 1297), а также расхождение и наблюдаемое иногда искривление этих линий, противоречит такому представлению. Я представляю себе, что сумма сил в любом сечении диэлектрика, перпендикулярном линиям индуктивной силы и включающем *все эти линии*, должна быть равна сумме сил в любом другом сечении, и что, таким образом, полная величина напряжения для каждого такого сечения должна быть постоянна.

1370. Разряд, вероятно, происходит не тогда, когда все частицы достигают определенной степени напряжения, а когда напряжение той частицы, которая подвергалась наиболее сильному действию, возрастает до точки, в которой должен случиться переворот или разрушение (1410). В самом деле, хотя *все* частицы на линии индукции сопротивляются заряду и действуют согласованно, давая при этом некоторую суммарную силу сопротивления, тем не менее, когда доводится до точки переворота которая-нибудь одна из них, тогда при искре между шарами должны поддаться все. Если сломится сопротивление этой одной частицы, то неизбежно вследствие этого будет опрокинута вся преграда, ибо сопротивление находилось уже на пределе, когда силы всех остальных поддерживались силой данной частицы, а этой силы больше нет. Таким образом, по этой теории, *напряжение, или интенсивность*,¹ выражается в особом состоя-

¹ Относительно предлагаемого значения этих терминов см. Гаррис. Philosophical Transactions, 1834, стр. 222.

нии частиц или в величине вынужденного отклонения их от нормального состояния (1298, 1368).

1371. По моей теории, все действие, производимое заряженным проводником на удаленный от него изолированный или неизолированный проводник, зависит от действия, распространяющегося от частицы к частице промежуточного и изолирующего диэлектрика; я предполагаю, что при этом все частицы временно приводятся в вынужденное состояние, из которого они стремятся вернуться к своему нормальному, или естественному состоянию. Таким образом теория дает, повидимому, простое объяснение зависимости индукции от *расстояния* (1303, 1364). С уменьшением расстояния индукция возрастает, ибо тогда на линии индуктивной силы меньшее число частиц сообща сопротивляются силе, стремящейся привести их в вынужденное или поляризованное состояние, и наоборот. Далее, при уменьшении расстояния разряд через него происходит при более низком заряде электричества, ибо если вдвое уменьшить расстояние, как в опытах Гарриса (1364), то для разряда через этот промежуток достаточно половины того электричества, которое требуется для разряда через первый; несомненно также, что тогда налицо имеется лишь половина промежуточных молекул, объединяющих свои силы для сопротивления разряду.

1372. При ограниченном притоке электричества увеличение проводящих поверхностей, которые во время индукции стоят друг против друга, приводит к понижению интенсивности действия, и это является весьма естественным следствием увеличения сечения диэлектрика, через который производится индукция. В самом деле, если индуктивное действие, которое раньше производилось через один квадратный дюйм поперечного сечения диэлектрика, заставить распространиться на площадь в два или три квадратных дюйма, то в поляризованное состояние придет в два или три раза большее число молекул, — они все будут участвовать в поддержании индуктивного действия, а потому напряжение, соответствовавшее случаю, когда ограниченная сила накапливается на меньшем числе молекул, должно в соответствующей степени упасть.

1373. По той же причине уменьшение этих стоящих друг против друга поверхностей должно вызывать увеличение напряжения, и это явление должно расти до тех пор, пока поверхности не превратятся в острия. Но в этом случае напряжение частиц диэлектрика, ближайших к остриям, выше, чем у частиц в средней части, вследствие бокового действия и вытекающего отсюда как бы разбухания линий индуктивной силы посередине между остриями (1369).

1374. Явления индукции на острие p или у малой поверхности вроде, например, закругленного конца стержня в том случае, когда последние расположены против большой поверхности (например, шара или пластины), выражены более ярко, чем когда острие находится против другого острия или конца: этот факт вполне согласуется с моей теорией (1302). В самом деле, в этом последнем случае малая поверхность p подвергается влиянию только тех частиц, которые приведены в индуктивное состояние такой же малой поверхностью противоположного проводника; наоборот, при опытах с шаром или пластинкой линий индуктивной силы, исходящие из последней, как бы концентрируются на конце p . Пусть напряжение молекул диэлектрика против большой поверхности значительно ниже, чем у молекул против соответственно меньшей поверхности, зато их теперь гораздо больше, и поскольку линии индуктивной силы сходятся по направлению к острию, то напряжение, которое они могут сообщить частицам, заключенным в некотором поперечном сечении (1369), более близком к этой малой поверхности, по величине может быть равно их собственному, и, следовательно, для каждой отдельной частицы будет значительно выше; таким образом напряжение частицы, расположенной у поверхности меньшего проводника, сильно возрастает, и если этот проводник будет заканчиваться острием, то напряжение возрастет до бесконечности, если только оно, как ранее (1368), не будет ограничено разрядом. К рассмотрению природы разряда в случаях малых поверхностей и острий, находящихся под действием индукции, мы вернемся в дальнейшем (1425 и т. д.).

1375. *Разрежение* воздуха не изменяет *интенсивности индуктивного действия* (1284, 1287), да, насколько я понимаю, для этого и нет никаких оснований. Если количество электричества и расстояние между проводниками остаются прежними, а воздух разрежен вдвое, то хотя половина частиц диэлектрика и удалена, но другая половина воспринимает, в отношении своей полярности, двойную степень напряжения, а потому индуктивные силы уравниваются, и результат остается неизменным до тех пор, пока сохраняются индукция и изоляция. Но при *разряде* дело обстоит совершенно иначе, ибо поскольку в разреженной атмосфере имеется только половинное количество частиц диэлектрика, то для доведения их до разрядного напряжения достаточно половины первоначального количества электричества; поэтому должен произойти разряд, и такой вывод из теории находится в полном согласии с результатами г. Гарриса (1365).

1376. Таким же образом и на основании того же самого принципа (1375) из молекулярной теории вытекает, что при увеличении давления или плотности воздуха должно *увеличиться* количество электричества, необходимое для того, чтобы получить разряд через такой же промежуток.

1377. В данном случае, я полагаю, мое представление об индукции имеет решительное преимущество перед другими, особенно перед тем, которое приписывает удержание электричества на поверхности проводников *давлению атмосферы* (1305). Последний взгляд, принятый Пуассоном и Био,¹ является, повидимому, общепринятым; между тем, этот взгляд грубыми механическими соотношениями — простым статическим давлением — связывает две такие разнородные вещи, как весомый воздух и тончайшую и даже гипотетическую электрическую жидкость (или жидкости). Моя теория, наоборот, начинается с того, что связывает электрические силы с частицами вещества; все ее доводы, и прежде всего сама она, берут начало из опыта, а затем,

¹ Encyclopaedia Britannica, дополнение, IV. Статья об электричестве. стр. 76, 81 и т. д.

она, повидимому, сразу без всяких дальнейших предположений дает полное объяснение этих и многих других замечательных своеобразных явлений, которые, как мне кажется, до сих пор не приводились в связь.

1378. Здесь можно привести в помощь еще один существенный экспериментальный довод, вытекающий из различия удельных индуктивных способностей разных диэлектриков (1269, 1274, 1278). Рассмотрим изолированный шар, наэлектризованный положительно и помещенный в центре в другом неизолированном шаре больших размеров; пусть между шаровыми поверхностями находится однородный диэлектрик, например воздух. Этот случай в сущности соответствует моему прибору (1187), а по своему действию не отличается от наэлектризованного шара, находящегося в комнате и удаленного на некоторое расстояние от проводников неправильной формы. Пока дело остается в этом положении, электричество распределяется по поверхности наэлектризованного шара (если так можно выразиться) равномерно. Но если ввести в пространство между двумя проводниками с одной только стороны или против одной части внутреннего шара такой диэлектрик, как сера или шеллак, то электричество на этом шаре немедленно распределится неравномерно (1229, 1270, 1309), хотя форма проводящих поверхностей, их расстояния и *давление* атмосферы остаются совершенно неизменными.

1379. Фузиньери придерживался другого взгляда, чем Пуассон, Био и др., на причину того, почему разрежение воздуха приводит к более легкому рассеянию электричества. Он считал, что это явление обусловлено тем, что при разрежении устраняется *противодействие*, оказываемое воздухом распространению тех веществ, с которых удаляется электричество.¹ Но платиновые шары в пустоте обнаруживают эти явления наравне с летучими металлами и другими веществами; кроме того, когда разрежение очень значительно, то электричество уходит почти без сопротивления и без заметного выделения тепла; поэтому, как

¹ Bibliothèque Universelle, 1831, XLVIII, стр. 375.

я полагаю, точка зрения Фузиньери вряд ли встретит большое одобрение.

1380. Мне не приходится говорить о разрядной или собирающей способности пламени или нагретого воздуха. Как и Гаррис, я полагаю, что одно нагревание не производит никакого действия (1367), единственно же существенным является разрежение. Влияние разрежения в общих чертах было рассмотрено выше (1375), а действие, вызываемое теплом горящей свечи с ее заостренным фитилем, и способность к переносу электричества, обнаруживаемая имеющимися в пламени частицами углерода, вполне достаточны для объяснения всех этих явлений.

1381. Мы подходим теперь к важному вопросу о том, как необходимое для изолирующего действия и разрывного разряда индуктивное напряжение будет поддерживаться в газах; эти газы обладают тем же физическим состоянием, а равно *тем же давлением и той же температурой*, что и воздух, но отличаются от него удельным весом, химическими свойствами, а может быть и другими особенностями, которые, хотя до сих пор и не разъяснены, являются чисто электрическими (1361).

1382. В настоящей момент я могу входить в рассмотрение этого вопроса лишь постольку, поскольку это существенно для данного положения, а именно, что изоляция и индуктивное напряжение зависят не только от того, какой выбран заряженный проводник, но также, и весьма существенно, от промежуточного диэлектрика, в связи с молекулярным действием его частиц (1292).

1383. Вершина и основание стеклянного сосуда *a* (рис. 121)¹ были отшлифованы так, чтобы его можно было закрыть двумя притертыми латунными пластинками *b* и *c*; на пластинке *b* имела муфта, через которую с трением проходил скользящий стержень *d*, заканчивающийся снизу латунным шариком *s*, а наверху — кольцом. Нижняя пластинка соединялась с подстав-

¹ Чертеж дан в масштабе 1/6.

кой *e*, краном *f* и цоколем *g*, а также с латунным шариком *l*, который с помощью стержня, прикрепленного к нему и входящего в цоколь *g*, можно было устанавливать на различной высоте. Металлические части этого прибора не были лакированы, а стекло было покрыто слоем шеллака из спиртового раствора. Можно было откачать сосуд воздушным насосом, и потом его

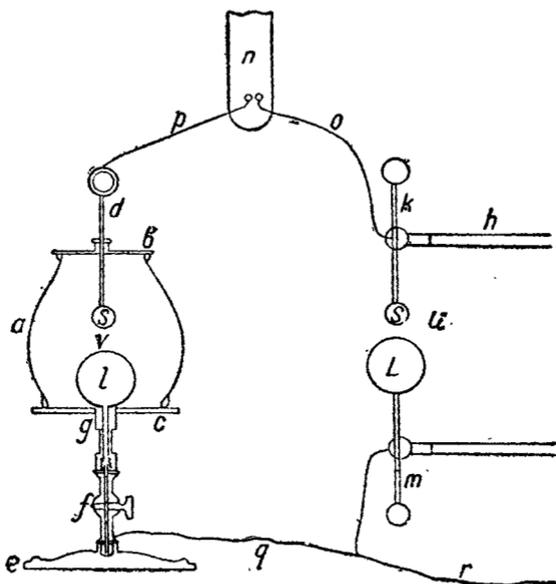


Рис. 121.

можно было вместо воздуха наполнять каким-либо другим газом; при этом вводимый таким образом газ предварительно просушивался над плавленным хлоридом кальция.

1384. Другая часть прибора состояла из двух изолирующих стоек *h* и *i*, на которых были укреплены два латунных шарика, а через последние проходили с трением два стержня *k* и *m*, заканчивавшиеся на обоих концах латунными шариками; *n* — конец изолированного проводника, который можно было с помощью электрической машины заряжать положительно или отрицательно;

σ и p — провода, соединяющие его с двумя описанными ранее частями прибора, а q — провод, который соединял две противоположных расположенных рядом системы и одновременно сообщался с хорошим разрядным проводом r (292).

1385. Ясно, что разряд электричества машины может проходить либо между s и l , либо между S и L . В первых опытах расстояние между s и l сохранялось неизменным; в сосуд a вводился сначала один, а потом другой газ, а затем разряд в одном месте уравнивался разрядом в другом месте; уменьшая в достаточной мере промежуток u , можно заставить разряд целиком проходить через него, а при достаточном его увеличении весь разряд будет проходить через промежуток v в сосуде. Принципиально казалось очевидным, что таким путем переменный интервал u можно будет принять за меру или, скорее, за указатель сопротивления разряду через газ при постоянном промежутке v . Постоянные размеры были следующие:

Шарик s	0,93 дюйма
Шарик S	0,96 дюйма
Шарик l	2,02 дюйма
Шарик L	1,95 дюйма
Промежуток v	0,62 дюйма

1386. При опыте было обнаружено, что когда в сосуде a находился воздух или какой-нибудь другой газ, промежуток u не был постоянным; длину его можно было менять в определенных пределах, и все же искры проскакивали то через него, то через промежуток v в сосуде. Поэтому были отмечены крайние значения, т. е. наибольшее расстояние, ближайшее к тому, при котором разряд *всегда* проходит через газ в v , и наименьшее расстояние, — ближайшее к тому, при котором он *всегда* проходит через воздух в u . Так, когда в сосуде находился воздух, крайние значения для u были равны 0,56 и 0,79 дюйма, промежуточное расстояние в 0,23 между этими точками включает те длины промежутка, при которых искры иногда проскакивали в одном месте, а иногда в другом.

1387. Шарик s и S можно было заряжать от машины положительно или отрицательно, а так как можно было ожидать,

что газы будут различно относиться к такой перемене тока, как это и оказалось на опыте (1399), то записывались также результаты, полученные при таких изменениях заряда.

1388. Нижеследующее представляет собой таблицу этих результатов; поименованный в таблице газ — это тот, который находится в сосуде *a*. Наименьшая, наибольшая и средняя длины воздушных промежутков *u* выражены в долях дюйма: длина промежутка *v* была неизменно равна 0,62 дюйма.

	Наименьшая	Наибольшая	Среднее
Воздух, <i>s</i> и <i>S</i> заряжены положительно	0,60	0,79	0,695
Воздух, <i>s</i> и <i>S</i> „ отрицательно	0,59	0,68	0,635
Кислород, <i>s</i> и <i>S</i> „ положительно	0,41	0,60	0,505
Кислород, <i>s</i> и <i>S</i> „ отрицательно	0,50	0,52	0,510
Азот, <i>s</i> и <i>S</i> „ положительно	0,55	0,68	0,615
Азот, <i>s</i> и <i>S</i> „ отрицательно	0,59	0,70	0,645
Водород, <i>s</i> и <i>S</i> „ положительно	0,30	0,44	0,370
Водород, <i>s</i> и <i>S</i> „ отрицательно	0,25	0,30	0,275
Углекислота, <i>s</i> и <i>S</i> „ положительно	0,56	0,72	0,640
Углекислота, <i>s</i> и <i>S</i> „ отрицательно	0,58	0,60	0,590
Маслородный газ, <i>s</i> и <i>S</i> заряжены положительно	0,64	0,86	0,750
Маслородный газ, <i>s</i> и <i>S</i> „ отрицательно	0,69	0,77	0,730
Светильный газ, <i>s</i> и <i>S</i> „ положительно	0,37	0,61	0,490
Светильный газ, <i>s</i> и <i>S</i> „ отрицательно	0,47	0,58	0,525
Газообразная соляная кислота, <i>s</i> и <i>S</i> заряжены положи- тельно	0,89	1,32	1,105
Газообразная соляная кислота, <i>s</i> и <i>S</i> заряжены отрица- тельно	0,67	0,75	0,720

1389. Приведенные выше результаты были получены в одно и то же время. В дельнейшем производились еще другие опыты, которые в основном дали результаты такого же порядка, но отличались от них численно. Например:

Водород, <i>s</i> и <i>S</i> заряжены положительно	0,23	0,57	0,400
Углекислота, <i>s</i> и <i>S</i> „ положительно	0,51	1,05	0,780
Маслородный газ, <i>s</i> и <i>S</i> заряжены положительно	0,66	1,27	0,965

Я не отмечал разницы в барометрическом давлении в дни опыта.¹

¹ Подобные же опыты с разными газами описаны в пп. 1507, 1508 Дек. 1838 г.

1390. Можно было ожидать, что существуют только два расстояния, по одному для каждого промежутка, при которых разряд может происходить и в том и в другом, и что малейшее изменение одного из промежутков немедленно вызовет постоянное преобладание одного над другим. Однако при обычных условиях дело обстоит иначе. Когда сосуд был наполнен воздухом, для меньшего промежутка, равного 0,6 дюйма, расхождение доходило почти до 0,2 дюйма, а при газообразной соляной кислоте расхождение превосходило 0,4 для меньшего промежутка, составлявшего 0,9 дюйма. Почему же постоянный промежуток (промежуток в сосуде) один раз пропускает искру, которая в то же время не может проскочить через 0,6 дюйма воздуха, а вслед за тем — и, повидимому, при точно таких же обстоятельствах — не может пропустить искру, проскакивающую через 0,8 дюйма воздуха?

1391. Вероятно, это различие отчасти следует отнести за счет носящихся в воздухе частиц пыли, вовлекаемых в цепь и в близлежащие точки (1568). Я полагаю, что отчасти оно обусловлено также переменным состоянием заряда на поверхности стеклянного сосуда *a*. Что все явление нельзя приписать целиком влиянию условий в сосуде *a*, можно видеть из того, что когда искры возникают между шариками в обычном воздухе, то они нередко оказываются не прямыми и часто проскакивают не по кратчайшему расстоянию, а по другим направлениям. Такие изменения в самом воздухе и у различных мест одних и тех же шариков указывают на наличие и влияние обстоятельств, которые способны производить явления рассматриваемого здесь рода.

1392. Когда через какой-либо из промежутков раз уже проскочила искра, то, вообще говоря, наблюдалось стремление к появлению, в *той же* промежутке, и дальнейших искр, как будто прохождение их было уже подготовлено последней искрой. Равным образом при продолжающемся быстром вращении машины искры чаще всего следовали друг за другом в одном и том же месте. Это явление, вероятно, обусловлено в некото-

рой части теплотой воздуха, подогретого предшествующей искрой, отчасти пылью, а отчасти, я полагаю, чем-то таким, что до сих пор в условиях разряда не подмечено.

1393. Весьма яркое отличие, притом *постоянное* по направлению, возникает, когда сообщенное шарикам s и S электричество меняется с положительного на отрицательное или наоборот. Отличие состоит в том, что пределы изменения всегда больше в том случае, когда меньшие шарики заряжены положительно, и меньше, когда они отрицательны. Это обнаруживается из следующей таблицы, составленной на основании предыдущих опытов.

	Положительно	Отрицательно
В воздухе пределы отклонения были	0,19	0,09
В кислороде	0,19	0,02
В азоте	0,13	0,11
В водороде	0,14	0,05
В углекислоте	0,16	0,02
В масляном газе	0,22	0,08
В светильном газе	0,24	0,12
В соляной кислоте	0,43	0,08

Я не сомневаюсь в том, что эти цифры нуждаются в некоторых поправках, но общий результат бросается в глаза; в отдельных случаях различие очень велико.

1394. Хотя вследствие непостоянства пробивного расстояния (1386) воздушный промежуток не может пока что служить мерой изолирующей способности или силы сопротивления газа в сосуде, тем не менее, в данном случае мы можем принять, что средняя длина промежутка до некоторой степени характеризует эту величину. Рассматривая средние промежутки, как они даны в третьем столбце (1388), мы ясно увидим, что служащие диэлектриками газы связаны с изоляцией, а, следовательно, и с индукцией, своими особыми электрическими свойствами, весьма отлично от того, чего можно было бы ожидать, если бы промежутки

зависели только от таких физических свойств, как удельный вес или давление.

1395. Прежде всего, ясно, что при *одном и том же давлении* газы ведут себя неодинаково, причем различие таково же, как между числами 37 и 110. Когда меньшие шарики заряжены положительно, то при одинаковой поверхности и при одном и том же давлении изолирующая или задерживающая способность газообразной соляной кислоты в три раза больше (1362), чем у водорода, и почти в два раза больше, чем у кислорода, азота и воздуха.

1396. Тем не менее очевидно, что эта разница обусловлена не удельным весом, ибо хотя водород и дает самые низкие значения, а следовательно более низкие, чем кислород, но кислород стоит значительно ниже азота и маслородного газа, а углекислота, хотя она и значительно тяжелее маслородного газа или газообразной соляной кислоты, стоит ниже их. Кислород, как тяжелый газ, и маслородный газ, как легкий, резко отличаются друг от друга, и если мы вправе судить о маслородном газе на основании данных, полученных Гаррисом для воздуха (1365), то маслородный газ можно было бы подвергнуть разрежению до двух третей его обычной плотности, т. е. до удельного веса 9,3 (при удельном весе водорода, равном 1), и при этом, несмотря на то, что он не обладал бы ни той плотностью, ни тем давлением, что кислород, изолирующая способность или стремление сопротивляться разряду, которые бы он обнаружил, были бы таковы же, как у кислорода.

1397. Выше были описаны опыты (1291, 1292), указывающие на то, что газы обнаруживают заметное сходство в отношении своих удельных индуктивных способностей. Этот результат не противоречит существованию значительных различий в их сдерживающей способности. То же самое уже было отмечено в отношении плотного и разреженного воздуха (1375).

1398. Отсюда возникает новый довод, подтверждающий, что предупреждает и определяет разряд (1377, 1378) не просто атмосферное давление, а особое электрическое свойство, или каче-

ство газообразной среды. Отсюда же лишний довод в пользу теории молекулярного индуктивного действия.

1399. Как ни грубы и поспешны предшествующие опыты, из них все же можно вывести еще и другие специфические различия между газами. Так, положительный и отрицательный ряды средних длин промежутков дают неодинаковые разницы. Выше было отмечено, что значения, соответствующие отрицательному заряду, ниже положительных (1393), но, кроме того, для положительного и отрицательного зарядов и *порядок* получается различный. Так, если сравнивать средние величины (которые для данного момента служат характеристикой изолирующего напряжения), оказывается, что в воздухе, водороде, углекислоте, маслородном газе и газообразной соляной кислоте напряжение подымалось выше, когда меньший шарик был заряжен положительно, и было ниже, когда он заряжался отрицательно; в кислороде, азоте и светильном газе имело место обратное. А поэтому, хотя эти числа и нельзя считать точными, и хотя воздух, кислород и азот должны были бы, по всей вероятности, вести себя одинаково, тем не менее, некоторые из этих результатов, как, например, для соляной кислоты, ясно указывают на особое свойство газов и различие между ними в этом отношении. В дальнейшем это было подтверждено, когда в сосуде *a* находилась газообразная соляная кислота, а воздушный промежуток был сделан равным 0,8 дюйма; в этом случае, при положительном заряде меньших шариков *s* и *S*, *весь* разряд проходил через *воздух*; а когда они же были заряжены отрицательно, *весь* разряд проходил через газообразную соляную кислоту.

1400. Когда проводник *n* был присоединен только к сосуду, содержащему газообразную соляную кислоту, то таким же образом было обнаружено, что при отрицательном заряде меньшего шарика *s* разряд совершался с большей легкостью, чем при положительном, ибо в последнем случае немалое количество электричества уходило с соединительного провода *p* в воздух в виде кисте-

вого разряда; в первом же случае, повидимому, все электричество проходило через соляную кислоту.

1401. Впрочем, к рассмотрению положительного и отрицательного разрядов через воздух и другие газы мы еще вернемся в последующей части этого доклада и в следующем докладе (1465, 1525).

1402. На этом пока-что я должен закончить рассмотрение этой стороны вопроса, которое имело единственной целью выяснить, насколько газы сходны или отличаются друг от друга в отношении способности удерживать заряд на телах, действующих через них путем индукции. Все результаты согласно указывают на то, что индукция представляет собой действие смежных частиц (1295 и т. д.); но мало того, что они подтверждают это основное положение, подлежащее проверке в настоящем исследовании, результаты эти еще способствуют в весьма значительной степени раскрытию особых свойств каждого газообразного диэлектрика; в то же время они указывают на необходимость дальнейшего широкого экспериментального исследования, суля новые открытия в награду за труды, которые для него требуются.

1403. Когда от рассмотрения диэлектриков, подобных газам, мы переходим к телам, находящимся в жидком и твердом состоянии, то наши рассуждения при настоящем состоянии вопроса все более приобретают характер простых предположений. Впрочем, в представляемых этими телами явлениях я не нахожу ничего, противоречащего теории. Возьмем три изолирующих диэлектрика, каковы воздух, скипидар и шеллак, и воспользуемся прежними шарами или кондукторами с одинаковыми промежутками, которые заполним этими тремя веществами; будем увеличивать напряжение индукции до тех пор, пока не наступит разряд; тогда окажется, что в жидкости ее надо повышать значительно сильнее, чем в газе, а в твердом теле еще выше, чем в жидкости. И это не противоречит теории, ибо хотя молекулы жидкости обладают почти такой же свободой перемещения, как

молекулы газа, но в данном промежутке жидкости имеется иллицо гораздо больше частиц; так же обстоит дело и с твердым телом. Кроме того, при опытах с твердым телом некоторое действие будут производить и силы сцепления данного вещества; правда, самая твердость тела и другие обстоятельства могут и не препятствовать получению в нем поляризованного состояния частиц, а в некоторых случаях могут даже, наоборот, благоприятствовать ему (1164, 1344); тем не менее, твердое состояние может оказать влияние на точку окончательного разрушения (точно так же, как оно предупреждает разряд в электролите); таким образом оно может дать индуктивному напряжению возможность расти до значительно более высокого размера.

1404. В случае твердых, а также жидких тел, последние могут обладать, а по всей вероятности и обладают, своими особыми различиями в отношении способности приходить в поляризованное состояние, а также в отношении той величины, до которой должна возрасти поляризация, чтобы произошел разряд. Аналогичная разница, уже отмеченная в последнем докладе для некоторых веществ (1278), существует в отношении их удельных индуктивных способностей. Таким различием можно бы было даже объяснить различия в изолирующей способности и проводимости, присущих различным веществам, и если бы оказалось, что они существуют, то это еще более усилило бы доводы в пользу молекулярной теории индуктивного действия.

1405. Рассмотрев эти разнообразные случаи изоляции, которую выдерживают непроводящие диэлектрики, вплоть до наивысшего предела, которого они могут достигнуть, мы видим, что рано или поздно они кончаются *разрывным разрядом*; при этом то особое состояние молекул диэлектрика, которое было необходимо для существования постоянной индукции, в равной мере существенно для возникновения этого явления, которым заканчиваются все прочие. Этот разряд отличается не только внешним видом и условиями от предыдущих видов разряда, пу-

тем которых осуществлялось понижение сил (1320, 1343); не меняясь по существу, он сам значительно видоизменяется в отношении некоторых характерных особенностей и таким образом являет нам формы *искры*, *кистевого разряда* и *свечения* (1359). Я начну с рассмотрения *искры*, и ограничусь пока что случаем разряда между двумя противоположно наэлектризованными проводящими поверхностями.

Электрическая искра или вспышка

1406. Искра является следствием разряда или ослабления поляризованного индуктивного состояния многочисленных частиц диэлектрика посредством особого действия немногих частиц, занимающих очень малый и ограниченный объем; при этом все бывшие до того поляризованными частицы возвращаются в свое первоначальное, или нормальное, состояние в порядке, обратном тому, в каком они его покидали, и общими силами стараются в данный момент создать, или, вернее, продлить (1417—1436) явление разряда в том месте, где первоначально возникло разрушение силы. У меня создается впечатление, что те немногие частицы, которые расположены в месте возникновения разряда, не просто отодвигаются в сторону, но что они временно приходят в особое сильно напряженное состояние, т. е. что на них последовательно обращаются все окружающие силы; тогда при соответственном возрастании напряжения их состояния, может быть до напряжения химического соединения атомов, они разряжают эти силы — возможно, таким же путем, как они разряжают свои собственные, каким-либо нам в настоящее время еще не известным процессом; этим все и кончается. Конечный эффект в точности таков, как если бы в месте нахождения разряжающихся частиц был вставлен металлический провод; и представляется вполне возможным, что в дальнейшем и принцип действия в обоих случаях окажется одинаковым.

1407. *Путь искры*, или разряда, зависит от степени напряжения, приобретенного частицами вдоль линии разряда; по при-

чинам, которые во всех обычных случаях вполне очевидны и легко объясняются на основании теории, напряжение этих частиц становится выше, чем у соседних, так что они, дойдя первыми до необходимого состояния, предопределяют путь разряда. Этим объясняется выбор пути, и тем самым разрешается существующая, с точки зрения старой теории, загадка, которую так хорошо описал Гаррис.¹ Для пути электрической искры, или даже молнии, среди молекул все заранее подготовлено предшествующей индукцией.

1408. То же затруднение указывает Нобили для случая гальванического электричества, и притом почти теми же словами, как г. Гаррис, а именно:² «Электричество направляется к той точке, где оно может с наибольшей легкостью разрядиться». Исходя из этого положения, Нобили пришел к результатам, которые прекрасно изложил для случая гальванических токов. Но *разрешение* этого затруднения, т. е. причина этих явлений, все та же: индукция доводит частицы до определенной степени напряжения (1370) или почти до нее, и разряд прежде всего и наиболее успешно осуществляется теми частицами, которые первыми достигают этого напряжения.

1409. *Момент* разряда, вероятно, определяется той частицей диэлектрика, напряжение которой в силу обстоятельств наиболее быстро возросло до максимальной интенсивности. Во всех тех случаях, когда разряд проходит от проводника к проводнику, эта молекула должна находиться на поверхности одного из них; когда же он проскакивает между проводником и непроводником, то это может быть и не всегда так (1453). Когда эта частица приобрела свое максимальное напряжение, то на исходящей из нее линии или линиях индуктивного действия вся преграда сопротивления оказывается сломленной, и происходит разрывной разряд (1370); такой вывод из теории кажется мне согласным с данными и заключениями г. Гарриса относительно

¹ Nautical Magazine, 1834, стр. 229.

² Bibliothèque Universelle, 1835, LIX, стр. 275.

сопротивления атмосферы, а именно, что фактически для одного разрядного расстояния оно не больше, чем для другого.¹

1410. Представляется вероятным, что напряжение частицы одного и того же диэлектрика, например воздуха, необходимое для получения разряда, является *постоянной величиной*, не зависящей ни от того, какую форму имеет то место проводника, с которым он соприкасается: шара или острия, ни от того, какова толщина или глубина диэлектрика, в котором действует индукция. Может быть, оно не зависит даже от состояния диэлектрика в смысле его разрежения или уплотнения и от природы того проводника, с которым частица в данное время связана, т. е. хорош он или плох. Этими словами я не думаю отрицать небольшие различия, которые могут быть вызываемы действием соседних частиц на «решающую» частицу; ведь, в самом деле, очевидно, что требующееся для частицы напряжение должно быть связано с состоянием частиц, расположенных рядом. Но если это предположение окажется близким к истине, то какую общность оно представляет! И нельзя ли надеяться в определенности силы, присущей отдельной молекуле, найти непосредственную связь с той силой, которая, будучи электрической, является столь же определенной и составляет химическое сродство?

1411. Теоретически казалось бы, что в момент искрового разряда вдоль одной какой-либо линии индуктивной силы не только все другие линии будут отдавать свои силы этой одной (1406), но что уничтожится боковой эффект, эквивалентный отталкиванию этих линий (1224, 1297); за этим последует, может быть, противоположное действие, которое поведет к сжатию или притяжению этих частей. В течение долгого времени я для статического электричества разыскивал какую-нибудь поперечную силу, которая была бы эквивалентна магнетизму или поперечной силе электричества в виде тока; я полагал, что она должна находиться в связи с описанным ранее (1297) поперечным действием линий индуктивной силы; поэтому я пытался посредством самых

¹ Philosophical Transactions, 1834, стр. 227, 229.

различных опытов обнаружить действие этой силы и почерпнуть отсюда объяснение явлений электромагнетизма и магнито-электричества.¹

1412. В числе других результатов я ожидал, что две одинаковые искры, если бы их удалось получить одновременно рядом и достаточно близко одна к другой, будут действовать друг на друга и даже вплотную подходить сбоку друг к другу. Для этой цели две одинаковые лейденские банки были снабжены медными стержнями, выступавшими из их шаровых головок в горизонтальном направлении; толщина стержней была равна примерно 0,2 дюйма; на концах они были закруглены. Лейденские банки были поставлены на лист станиоля и установлены таким образом, что их стержни *a* и *b* приходились близко друг к другу в положении, представленном в

плане на рис. 122; *c* и *d* были два латунных шарика, соединенные друг с другом латунным стержнем и изолированные; *e* — также латунный шарик, соединенный посредством провода с

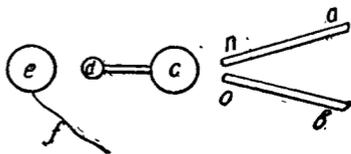


Рис. 122.

землей и со станиолем, на котором стояли лейденские банки. Если поперек *a* и *b* положить изолированный металлический стержень, зарядить банки и удалить стержень, то обе лейденские банки можно довести до одинакового напряжения заряда (1370). Если затем приблизить шарик *e* к шарикю *d* в тот момент, когда между ними проскакивала искра, между стержнями *n* и *o* и шариком *c* проскакивают две искры; насколько можно было судить на-глаз и поскольку это определялось условиями опыта, они происходили одновременно.

1413. При этих условиях разряд совершался двояким образом: либо от каждого конца на шарик проскакивала своя особая искра, либо только один конец соединялся с шариком посред-

¹ См. дальнейшие исследования по этому вопросу (1658—1666, 1709—1735). Дек. 1838 г.

ством искры, но в то же время он был связан с другим концом искрой, проскакивавшей между ними обоими.

1414. Если шарик *c* имел примерно один дюйм в диаметре, а концы *n* и *o* отстояли от него примерно на полдюйма и на 0,4 дюйма друг от друга, то удавалось устроить, чтобы искры направлялись к шарик. Чтобы сблизить искры, концы *n* и *o* подвигались ближе друг к другу; тогда давал искру на шарик только один конец, а от другого конца искра шла к первому; этого не случалось только при очень тщательной установке; при малейшем изменении в расположении либо *n*, либо *o* становилось тем концом, который давал искру прямо на шарик; через него же или с его помощью разряжал свое электричество второй шарик.

1415. Я нашел, что при уменьшении шарика *c* необходимо увеличить промежуток между *n* и *o* в соответствии с расстоянием между ними и шариком *c*. Я обнаружил, что при увеличении *c* можно уменьшать промежуток и таким образом сближать две одновременные самостоятельные искры до тех пор, пока расстояние между ними в наиболее широкой части не становилось в конце концов равным 0,6 их полной длины.

1416. Затем я пропускал многочисленные искры и тщательно за ними наблюдал. Очень редко они были прямые, чаще же оказывались либо дугообразными, либо неправильно изогнутыми. В большинстве случаев, как мне кажется, они определенно были выпуклыми по направлению друг к другу; может быть, две трети искр в большей или меньшей степени давали это явление, а остальные были более или менее выгнуты наружу. Но мне никогда не удавалось получить такие тонкие искры, чтобы они отдельно соскочили с проводов *n* и *o*, а потом слились в одну искру, прежде чем достигнуть шарика *c* или соединиться с ним. Поэтому в настоящий момент, хотя я и думаю, что наблюдал стремление искр к соединению, но не берусь утверждать, что это действительно так.

1417. Здесь наблюдается однако одно весьма интересное явление, аналогичное, а может быть отчасти тождественное, с

тем, которое я пытался получить; я подразумеваю большую легкость разряда в том месте, где проскакивает искра. Например, в тех случаях, когда один конец, хотя бы n , производил разряд электричества от обоих концов к шарiku c (рис. 122), электричество другого конца o должно было проходить через воздушный промежуток, в 1,5 раза превосходящий тот, через который ему бы пришлось пройти, непосредственно проскакивая между данным концом и самим шариком. В таких случаях, даже пользуясь методом Уитстона,¹ на-глаз нельзя было заметить, чтобы искра из конца n , содержавшая обе порции электричества, была двойной. Не могла она также состоять из двух искр, проследовавших разными путями, ибо такое явление было бы видно на-глаз; но все-таки возможно, что искра от первого конца n и его лейденской банки, опередив на ничтожный промежуток времени искру от другого конца o , нагревала и расширяла воздух на своем пути и приводила его в состояние, настолько более благоприятствующее разряду, что электричество конца o предпочтительно проскакивало через него и избирало весьма извилистый путь, а не более прямой путь к шарiku. Против этого предположения надо, однако, заметить, что одна уже искра между d и e своим влиянием стремилась бы произвести одновременные разряды у n и o и, несомненно, производила их, когда ни один из проводов не был поставлен в более благоприятные условия в отношении предшествующего индуктивного действия (1414).

1418. Дело в том, однако, что разрывной разряд способен сам себе. Вначале он представляет собой случай неустойчивого равновесия, и если *время* хотя бы в чрезвычайно малой степени (1436) привходит в разряд, как его элемент, то начало действия в какой-нибудь точке благоприятствует его продолжению и усилению в этом месте, и некоторые количества силы будут разряжаться по такому пути, которого они при других обстоятельствах не избрали бы.

¹ Philosophical Transactions, 1834, стр. 584, 585.

1419. Уже одно нагревание и расширение воздуха первой порцией проходящего электричества должно оказывать большое влияние при получении этого явления.

1420. Что касается самого результата, то действие его можно проследить в каждой электрической искре, ибо разряд определяется не всем проходящим количеством электричества, а только той небольшой частью силы, которая доводит решающую молекулу (1370) до максимального напряжения; затем, когда силы ее преодолены и начинается разряд, все остальное электричество проходит по тому же пути благодаря влиянию только что упомянутых благоприятствующих условий; и независимо от того, как распределено электричество: на одном или на тысяче квадратных дюймов заряженного стекла, разряд идет до конца. В дальнейшем мы встретимся с влиянием этого явления при образовании кистевых разрядов (1435), и весьма возможно, что удастся выявить его участие при образовании зигзагообразной искры и разветвляющейся молнии.

1421. Свойства электрической искры в *различных газах* различны; возможно, что это различие зависит просто от действия выделяющегося в этот момент тепла. Но оно может зависеть также от того особого соотношения частиц и электрических сил, которое я положил в основу своей теории индукции; факты не противоречат такому представлению, а с такой точки зрения самые различия подкрепляют доводы в пользу молекулярного действия, поскольку оно как бы указывает на влияние последнего во всех областях электрических явлений (1425, 1454).

1422. Внешний вид искр в различных газах наблюдался и описывался неоднократно,¹ но я считаю не лишним вкратце указать на следующие результаты: искры получались с латунными шариками (платиновые поверхности были бы лучше) и при

¹ См. описание машины Тейлера (Teyler), данное ван Марумом, I, стр. 112 и II, стр. 196, а также Encyclopaedia Britannica, VI, статья «Электричество», стр. 505, 507.

обыкновенных давлениях. В *воздухе* искры обнаруживают тот чрезвычайно яркий синеватый цвет, который всем известен, и когда количество проходящего электричества невелико, то часто по его пути видны бледные или темные участки. В *азоте* искры очень красивы; они имеют в общем такой же внешний вид, как и в воздухе, но обладают определенно более сильной окраской синеватого или пурпурового оттенка; сопровождавший их треск мне казался особенно звучным. В *кислороде* искры были белее, чем в воздухе и азоте, и, мне кажется, менее ярки. Искры в *водороде* были очень красивого малинового цвета; это не находится в связи с разреженностью водорода, ибо при разрежении (1459)¹ окраска исчезала. Треск в этом газе был очень слаб, но это объясняется физическими свойствами последнего.² В *углекислом газе* цвет искры был таков же, как в воздухе, но с некоторым зеленоватым оттенком; искры были особенно неправильны по форме — более неправильны, чем в обыкновенном воздухе; кроме того, при прочих равных условиях в отношении размера шарика и т. д., их удавалось получать значительно более длинными, чем в воздухе, т. е. газ проявлял удивительную способность легко пропускать разряд в форме искры. В *газообразной соляной кислоте* искры были почти белые; они всегда были ярки на всем своем протяжении и никогда не обнаруживали тех темных участков, которые иногда получают в воздухе, азоте и некоторых других газах. Газ был сухой, и в течение всего опыта внутренняя поверхность стеклянного шара оставалась сухой и блестящей. Искра в *светильном газе* бывала иногда зеленой, иногда красной; случалось, что одна часть ее была зеленой, а другая — красной; вдоль искры наблюдались также резко ограниченные темные участки, не связанные с яркими участками каким-нибудь более тусклым переходом. Создается впечатление, что светлый и темный участки следуют непосредственно один за другим.

¹ Ван Марум говорит, что искры в водороде примерно в четыре раза больше чем в воздухе (т. I, стр. 122).

² Leslie, Cambridge Phil. Transactions, стр. 267.

1423. Такое разнообразие внешних признаков создает у меня впечатление, что они обусловлены прямой связью между электрическими силами и частицами диэлектрика, через который происходит разряд, а не являются просто результатом случайного воспламенения или вторичного действия электричества на те частицы, которые оно встречает на своем пути и разбрасывает при своем прохождении (1454).

1424. Искру можно получить и в средах значительно более плотных, чем воздух, как, например, скипидар, оливковое масло, смола, стекло и т. п.; ее можно получить также в веществах, которые, будучи более плотными, в то же время приближаются к свойствам проводников, например, в спермацете, воде и т. п. Но и в этих случаях, насколько я понимаю, не встречается ничего, что бы противоречило тем общим представлениям, в защиту которых я выступаю.

Электрический кистевой разряд

1425. Следующий вид разрывного разряда, который я рассмотрю, это *кистевой разряд*. Существует много способов получения такого разряда, или, вернее, усиления его характерных особенностей, и все эти способы служат к выяснению тех принципов, которые лежат в его основе. Возьмем изолированный проводник, соединим его с положительным кондуктором электрической машины и снабдим его металлическим стержнем диаметром 0,3 дюйма; пусть стержень выступает в сторону, противоположную машине и заканчивается закруглением или небольшим шариком. Такой стержень, как правило, дает хорошие кистевые разряды; если машина находится в плохом состоянии, то можно указать множество приемов, способствующих образованию кистевого разряда. Так, для увеличения индуктивной силы (1374) к концу стержня можно приблизить руку или какую-нибудь *большую* проводящую поверхность; можно взять конец меньших размеров и из плохо проводящего вещества, например из дерева; можно включить искру между главным кондуктором машины и тем вторичным проводником, к которому принадлежит конец,

испускающий кистевые разряды; можно (это сообщает кистенным разрядам чрезвычайно красивый вид и большие размеры) более или менее разредить воздух вокруг конца — все равно как: нагреванием или посредством воздушного насоса; при этом ранее упомянутые благоприятствующие условия следует сохранить.

1426. Кистевой разряд получался от мощной машины на шарике диаметром в 0,7 дюйма; шарик находился на конце длинного латунного стержня, прикрепленного к положительному главному кондуктору; разряд имел тогда в общем вид, изображенный на рис. 123; в средней части шарика появлялся, выступая прямо из него, конический яркий участок или ствол, который на небольшом расстоянии от шарика внезапно превращался в широкую кисть бледных разветвлений; последние находились в дрожательном движении и при этом сопровождалась низким глухим треском.

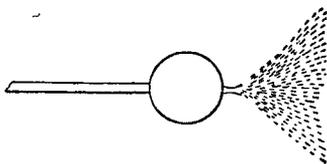


Рис. 123.

1427. На первый взгляд кисть кажется непрерывной, но проф. Уитстон показал, что явление как целое состоит из последовательных перемежающихся разрядов. ¹ Если, двигая не головой, а одним только глазом, быстро переводить взгляд в направлении, перпендикулярном кисти, смотря сначала в упор примерно на 10—15° выше ее и сейчас же затем настолько же ниже, то вся кисть представляется разложенной на некоторое число отдельных кистей, расположенных вдоль линии, пройденной глазом; каждая элементарная кисть представляет собой результат отдельного разряда, а пространство между ними отвечает как тому времени, в течение которого глаз проходил этот промежуток, так равно и времени, прошедшему между одним разрядом и следующим за ним.

1428. Отдельные кисти легко было отделить на расстояние, в восемь или десять раз превосходящее их собственную толщину,

¹ Philosophical Transactions, 1834, стр. 586.

но они за это время не расширились, т. е. не становились более неопределенными по форме; они становились, наоборот, более отчетливыми и, отделяясь от других, действовали на глаз как более определенные по форме, разветвлению и характеру. Значит, каждая из них существовала одно мгновение (1436). У каждой кисти имелся вполне развитый конический ствол (1426).

1429. При шарике меньшего диаметра вся кисть вообще была меньше, а звук, хотя и слабее, но более непрерывный. При разложении кисти, как и ранее, на ее элементарные части оказалось, что последние возникали через значительно более короткие промежутки времени, чем в первом случае, но разряд все же был перемежающимся.

1430. Когда для получения кисти служил провод с закругленным концом, кисть получалась еще меньше, но, как и ранее, ее можно было разложить на последовательные разряды. Звук, хотя и более слабый, был выше по тону и представлял собой ясную музыкальную ноту.

1431. Звук получается из повторяющихся шумов каждого отдельного разряда; последние же при обычных условиях происходят через почти равные промежутки времени и тем создают впечатление определенной ноты, высота которой растет с увеличением быстроты и правильности чередования перемежающихся разрядов; эта нота является удобной и точной мерой длительности промежутков между разрядами и может, таким образом, служить для определения элемента *времени* в каждом случае, когда разряд слышен, даже если внешних его проявлений не видно. Так, когда мы поднесем руку к выступающему стержню или шарiku, и высота тона, производимого кистевым разрядом, при этом повышается, то это явление говорит о том, что мы увеличили индукцию (1374), а таким путем и быстроту чередования заряда и разряда.

1432. Если брать провод с более тонким концом, то получаются все более мелкие кистевые разряды, пока, наконец, их едва удается распознавать как таковые. Но пока был слышен звук, на-глаз можно было установить, что разряд — перемежающийся;

когда же звук прекращался, свет становился *непрерывным*, как при электрическом свечении (1359, 1405, 1526—1543).

1433. Для тех, кто не привык пользоваться глазом описанным мною способом, или в случаях, когда чередование разрядов является слишком быстрым для невооруженного глаза, для выявления вышеупомянутых условий окажется полезным прекрасное вращающееся зеркало проф. Уитстона.¹ Другой превосходный прием заключается в том, чтобы, производя кистевой разряд или другое световое явление на конце стержня, держать последний в руке против кондуктора, заряженного положительно или отрицательно, а затем быстро перемещать его из стороны в сторону, глаз же оставлять неподвижным. Последовательные разряды происходят, конечно, в различных местах, и прекрасно удается различать, что происходит до отдельной вспышки или кистевого разряда, во время этой вспышки и после нее.

1434. Кистевой разряд — это в действительности разряд между плохо проводящим или не проводящим телом, с одной стороны, и либо проводником, либо другим непроводником — с другой. При обычных условиях это — разряд между проводником и воздухом, и я себе представляю, что он происходит приблизительно следующим образом. Когда на середину комнаты выступает конец наэлектризованного стержня, то между ним и стенами комнаты через диэлектрик, т. е. воздух, имеется индукция, и линии индуктивной силы сгущаются на этом конце в количестве большем, чем в каком-либо другом месте. Другими словами, в силу упомянутых выше причин (1374) частицы воздуха у конца стержня оказываются поляризованными более, чем частицы в других точках стержня. Частицы воздуха, расположенные в поперечных сечениях этих силовых линий, наименее поляризованы в тех сечениях, которые ближе к стенам, а наиболее поляризованы в тех, которые ближе к концам проводов (1369); поэтому легко может случиться, что частица у конца провода будет находиться при напряжении, которое сейчас же

¹ Philosophical Transactions, 1834, стр. 584, 585.

завершится разрядом, тогда как напряжение частиц, отстоящих всего на несколько дюймов дальше, все еще будет ниже этого предела. Но предположим, что стержень заряжен положительно; соседняя с ним частица воздуха *A* (рис. 124) будет поляризована, а отрицательный заряд ее, конечно, обращен к стержню, а положительный — наружу. В тот момент, когда между положительной силой частицы стержня, находящейся против воздуха, и отрицательной силой обращенной к стержню частицы воздуха, произойдет разряд, вся частица воздуха наэлектризуется положительно; когда же в следующий момент на разрядившейся части стержня восстановится положительное состояние (путем проводимости от находящейся позади поверхности металла), то стержень будет действовать на частицы, находящиеся за частицей *A*, и будет снова приводить *A* в поляризованное состояние;



Рис. 124.

но, мало того, и сама частица *A*, в силу того, что она заряжена, должна проявлять определенное индуктивное действие в направлении этих более удаленных ча-

стиц; вследствие этого напряжение между *A* и *B* повышается настолько, что и в этом месте, так же как и повторно между металлом и *A*, наступает разряд.

1435. Было показано, что, помимо этого явления, раз процесс разряда начался, вся операция, как в случае неустойчивого равновесия, стремится к развязке (1370, 1418), причем остальная часть процесса облегчается, и к месту разряда устремляется еще другое электричество, помимо того, которым первоначально было вызвано необходимое напряжение. Поэтому, когда разрывной разряд уже начался у ствола кисти, то электрическая сила, накапливавшаяся в проводнике, связанном со стержнем, находит здесь более удобный путь для разряда, чем во всяком другом месте. Она сразу будет следовать по этому как бы намеченному для нее пути, причем оставляет при этом проводник в частично разряженном, а воздух вокруг конца провода — в заряженном состоянии. Для полного восстановления заряда проводника и

для рассеяния в большей или меньшей степени заряженного воздуха соединенным действием отталкивания от проводника и притяжения к стенам комнаты, к которым направлено его индуктивное действие, необходимо некоторое время; это и есть то время, которое протекает между одним кистевым разрядом и следующим за ним (1420, 1427, 1431, 1447).

1436. Описание получилось длинное, но ни в самом явлении, ни в вызывающих его силах нет ничего, что помешало бы разряду быть *мгновенным*, насколько мы можем это оценить и измерить. Рассмотрение *времени* является, однако, существенным с нескольких точек зрения (1418), а в отношении разрывного разряда, на основании теории, казалось гораздо более вероятным, что его можно скорее обнаружить в кистевом разряде, а не в искре. В самом деле, при кистевом разряде частицы вдоль линии, по которой проходит разряд, находятся в отношении напряжения в весьма различных условиях, и у ствола кисти действие разряда уже завершается раньше, чем частицы на концах разветвлений достигают своего наибольшего напряжения.

1437. Я считаю, что *кистевой разряд*, вероятно, представляет собой ряд последовательных явлений вот какого рода: разряд начинается у ствола (1426, 1553), распространяясь последовательно на все части отдельной кисти, и продолжает развиваться у ствола у ранее образовавшихся частей до тех пор, пока не сформируется вся кисть; затем вследствие падения напряжения и силы у проводника разряд прекращается сразу во всех местах, чтобы возобновиться, когда эта сила снова повысится в достаточной степени. В *искре же* частицы вдоль линии разряда, будучи в силу имеющихся условий почти одинаковыми в отношении интенсивности поляризации, претерпевают разряд почти в один и тот же момент, так что продолжительность оказывается для нас почти неощутимой.

1438. Г-н Уитстон уже производил опыты, полностью иллюстрирующие это положение. Он нашел, что кистевой разряд вообще обладает заметной длительностью, но в отношении искры ему, при всей его наблюдательности, не удалось подметить тако-

явление.¹ Я повторял его опыт с кистевым разрядом, хотя и с менее совершенными средствами, чтобы проверить, не смогу ли я усмотреть, что длительность разряда больше в стволе, т. е. при основании кисти, чем на концах. Судя по тому, что я видел, я склонен думать, что явление такого рода имеется налицо.

1439. Итак, разряд распадается на несколько разветвлений и с помощью их проходит через участки воздуха, одинаковые или почти одинаковые в отношении поляризации и той степени напряжения, которую в них восприняли частицы; это обстоятельство является весьма естественным следствием предшествующих условий; с большим основанием можно было ожидать именно этого; гораздо менее вероятно, чтобы разряд продолжал идти прямо вперед по одной линии среди таких частиц, которые, будучи удалены от конца стержня, находятся в состоянии более низкого напряжения, чем те, которые близки к стержню. С одной стороны, нельзя не сделать заключения, что в том месте, где появляются ветви отдельной кисти, условия для разряда более благоприятны, чем в более темных участках между разветвлениями; с другой стороны, мы можем также заключить, что в тех местах, где сопутствующее разряду свечение одинаково, условия являются также почти одинаковыми. Отдельные последовательные кисти никоим образом не обладают одинаковой формой, даже если их наблюдать, не перемещая стержня или окружающих предметов (1427, 1433). Можно принять, что последовательные разряды проходят в массу окружающего воздуха для каждой кисти по новому пути, в соответствии с тем, что весьма незначительные обстоятельства, как пыль и т. п. (1391, 1392), благоприятствуют прохождению сквозь один ряд частиц, предпочтительно перед другим.

1440. Кистевой разряд не требует обязательно какого-либо потока в той среде, в которой он появляется. такой поток почти всегда существует, но он является следствием разряда и будет рассмотрен ниже (1562—1610). Если направить тупой положи-

¹ Philosophical Transactions, 1836, стр. 586, 590.

тельно заряженный конец на неизолированную воду, на нем появляется сияние, или свечение; от него исходит струя воздуха, и поверхность воды выдавливается; но если поднести конец настолько близко, что происходят звучные кистевые разряды, поток воздуха мгновенно прекращается, и поверхность воды становится горизонтальной.

1441. Кистевой разряд направлен не ко всем частицам воздуха, находящимся вблизи наэлектризованного проводника, от которого исходит разряд; наэлектризованными являются только те места, где проходят разветвления; воздух в центральных темных частях между ними не получает заряда, и во время разряда его электрическое и индуктивное напряжение на деле значительно понижается. В самом деле,

пусть рис. 125 изображает отдельную положительную кисть; перед разрядом индукция направлена от конца стержня наружу по расходящимся линиям к удаленным проводникам,

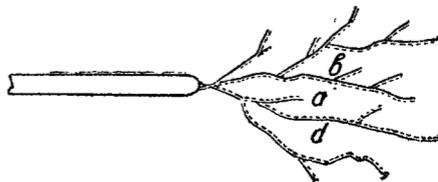


Рис. 125.

как стены комнаты и т. п.; частица у *a* обладает поляризацией определенной степени напряжения и с определенной силой стремится зарядиться; в момент же разряда воздух в разветвлениях *b* и *d*, также приходя в положительное состояние, противопоставляет свое влияние на *a* влиянию положительного проводника, и потому напряжение частицы у *a* скорее уменьшается, а не увеличивается. Заряженные частицы у *b* и *d* являются теперь индуктивными телами, но линии их индуктивного действия все еще направлены наружу к стенам комнаты; направление полярности и стремление других частиц получить от них заряд определяются этими линиями силы и находятся с ними в соответствии.

1442. Те частицы, которые заряжены, вероятно, заряжены очень сильно; но так как вся среда является непроводником, то они не могут привести в это состояние соседние с ними ча-

стицы. Поэтому они под влиянием сил притяжения и отталкивания перемещаются от заряженного проводника по направлению к ближайшему неизолированному проводнику или к ближайшему телу, находящемуся в отличном от них состоянии, точно так же, как перемещались бы заряженные частицы пыли, и затем разряжаются; каждая частица на своем пути действует на все тела, вблизи которых она проходит, как центр индуктивной силы. Перемещение этих заряженных частиц, когда их много, производит ветер и потоки, но последние будут рассмотрены в главе о *разряде путем переноса* (1319, 1562 и т. д.).

1443. Когда о воздухе говорят, что он наэлектризован, — а он часто приходит в такое состояние вблизи электрических машин, — то, по моим представлениям, он состоит из смеси наэлектризованных и ненаэлектризованных частиц, причем вторых значительно больше, чем первых. Когда мы отбираем электричество от воздуха с помощью пламени или проводов, это происходит либо путем действительного разряда этих частиц, либо посредством операций, зависящих от их индуктивных действий; можно производить по желанию и то, и другое. Закон равенства двух сил или форм силы в индуктивном действии строго соблюдается как в этих, так и в других случаях; это полностью подтверждается установленным ранее фактом (1173, 1174), что как бы сильно воздух в сосуде ни был заряжен положительно, в точности такое же количество отрицательной силы получается на внутренней поверхности самого сосуда, ибо никакого избытка того или другого электричества получить не удалось.

1444. Я нигде не утверждал, что воздух заряжается только там, где появляется светящаяся кисть, и это ниоткуда не следует. Заряд может распространяться за пределы видимых частей, т. е. частицы справа и слева от линий света могут получать электричество, а светящиеся участки светятся лишь вследствие того, что по ним к другим участкам проходят большие количества электричества (1437). Точно так же в искровом разряде свечение тем сильнее, чем больше проходит электричества,

хотя последнее не должно стоять ни в какой зависимости от количества электричества, требующегося для возникновения разряда (1370, 1420). Значит, та форма, которую мы наблюдаем в кистевом разряде, может и не охватывать всего количества наэлектризованного воздуха, ибо в это же время может получать заряд (1552) и невидимая часть, обволакивающая видимую область на известную толщину.

1445. Некоторые явления, с которыми я столкнулся при опытах с газообразной соляной кислотой, заставляют меня думать, что это газообразное вещество способно пропускать через себя темный разряд. В то же время из теории вполне ясно, что в некоторых газах может иметь место обратное, т. е. что заряд воздуха может распространяться даже не на весь объем свечения. Мы до сих пор слишком мало знаем об электрическом свечении, чтобы установить, от чего оно зависит; весьма вероятно, что когда электричество прорывается в воздух, все частицы которого находятся в состоянии напряжения, свет может излучаться такими частицами, которые, хотя и находятся очень близко к частицам, получающим в этот момент заряд, но не принадлежат к их числу.

1446. Чем дальше кисть проникает в газ, тем, несомненно, дальше продвигается вперед заряд или разряд; но эти отношения могут меняться для различных газов, и в то же время напряжение, необходимое в первый момент разряда, может меняться не в таком же, а в другом отношении. Так, что касается азота и газообразной соляной кислоты, то, насколько можно судить по опытам, произведенным мной до сих пор, кисти, которые получаются в первом, гораздо изящнее и длиннее, чем в последней (1458, 1462); между тем, напряжение, необходимое для начала разряда, в соляной кислоте значительно выше, чем в азоте (1395). Таким образом здесь снова, как и в отношении многих других свойств, различные газообразные диэлектрики представляют свои особые различия, чем вновь подтверждается особое отношение каждого к действию и явлениям индукции.

1447. Подводя итог этим соображениям относительно характера и условий кистевого разряда, я могу сказать, что он пред-

ставляет собой: искры в воздух; распространение электрической силы в вещество не путем проводимости, а путем разрывного разряда; ослабленную искру, которая, переходя к веществу, проводящему очень плохо, часто разряжает лишь небольшую часть накопленной на проводнике силы. В самом деле, заряженный воздух оказывает на проводник противодействие, и потому в то время как сила проводника ослабевает, вследствие потери электричества (1435), разряд быстро прекращается до того момента, пока в результате рассеяния заряженного воздуха и нового возбуждения проводника условия не вернуться в первоначальное действительное состояние; тогда снова происходит разряд, и снова он ослабевает и усиливается.

1448. Кистевой разряд и искра постепенно переходят друг в друга. Если положительно зарядить небольшой шарик от хорошей электрической машины с большим главным кондуктором и приближать к нему большой неизолированный разрядный шар, можно получить прекрасные переходы от искры к кистевому разряду. Рисунки длинных и мощных искр, приводимые ван Марумом,¹ Гариссом² и другими, также указывают на это явление. Насколько я мог заметить, всякий раз, когда искра проходила в воздух в виде кисти при обычных давлениях, разряжалось не все электричество, а лишь часть его, большая или меньшая, в зависимости от обстоятельств; наоборот, во всех случаях, когда явление на всем своем протяжении представляло отчетливую искру, разряд происходил до конца, если только в разрядной цепи нигде, за исключением того места, где проскакивала искра, не было разрыва.

1449. Когда электрический кистевой разряд, длиной от одного до шести или более дюймов, проходит в свободную атмосферу, он имеет вид, изображенный на рис. 123. Если же близко поднести руку, шарик или какой угодно другой проводник с утолщением на конце, то концы светящихся нитей поворачиваются

¹ Description of the Teylerian Machine, I, стр. 28, 32; II, стр. 226 и т. д.

² Philosophical Transactions, 1834, стр. 243.

по направлению к нему и друг к другу, и вся кисть принимает различные, в зависимости от обстоятельств, виды, как это изображено на рис. 126, 127 и 128. Влияние этих обстоятельств в каждом случае легко проследить, и я мог бы здесь его описать, но мне совестно отнимать время Общества столь простыми ве-

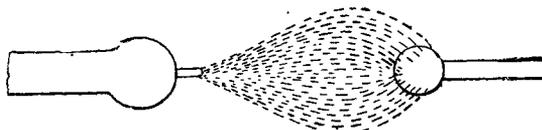


Рис. 126.

щами. Но как прекрасно кривизна разветвлений иллюстрирует искривленный вид линий индуктивной силы, существовавших до разряда! Ведь, в самом деле, первые являются следствиями вторых и пробивают себе путь в каждом разряде там, где пред-

шествующее индуктивное напряжение достигает надлежащей степени. Они изображают эти кривые так же хорошо, как железные опилки изображают маг-

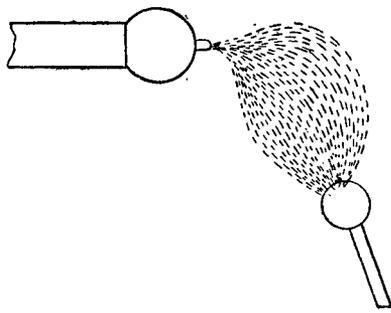


Рис. 127.

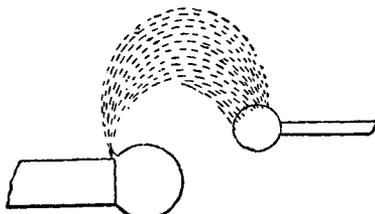


Рис. 128.

нитные кривые; в обоих случаях видимые явления представляют собой следствия действия сил в том месте, где эти явления наблюдаются. Таким образом эти явления составляют новое и веское свидетельство (1216, 1230) вдобавок к тому, которое было высказано ранее, в пользу как индукции в диэлектриках по кривым линиям, так и боковой связи этих линий — связи, про-

изводимой действием, равносильным отталкиванию, с последующим расхождением линий или, как в изображенных на рисунках случаях, выпуклой их формой.

1450. Что касается теории молекулярного индуктивного действия, то я могу привести в качестве еще одного доказательства получение длинной кистеобразной разветвленной искры между небольшим шариком на положительном кондукторе электрической машины и шариком большего диаметра, находящемся от него на некотором расстоянии (1448, 1504). Как прекрасно искра эта иллюстрирует предшествующее состояние *всех* частиц диэлектрика между разрядными поверхностями, и как непохожи ее внешние проявления на то, чего можно было бы ожидать, если исходить из теории, предполагающей, что индуктивное действие есть действие на расстоянии, что оно происходит только по прямым линиям, и что заряд представляет собой электричество, удерживаемое на поверхности проводников одним давлением атмосферы!

1451. Когда кистевой разряд получается в разреженном воздухе, то его внешний вид сильно меняется в зависимости от обстоятельств и бывает чрезвычайно красив. Иногда кисть состоит всего из шести-семи ветвей, широких и ярко светящихся, пурпурового цвета, и местами отстоящих друг от друга на дюйм или более; с помощью искрового разряда от главного кондуктора (1455) отдельные кисти можно получать по желанию. Разрежение воздуха благоприятствует получению разряда в форме кисти; это происходит таким же образом и по тем же причинам, что и при искровом разряде (1375); но всегда имеет место предварительная индукция, заряд через диэлектрик и поляризация частиц последнего (1437); при этом индукция, как и во всех других случаях, попеременно то усиливается машиной, то ослабляется разрядом. В некоторых опытах разрежение доводилось до крайней степени, и противоположные проводящие поверхности сближались настолько, насколько это было возможно сделать, не

вызывая свечения (1529); тогда кистевые разряды сокращались в своих поперечных размерах и повторялись настолько быстро, что образовали казавшуюся непрерывной дугу света от металла к металлу. Все же можно было видеть, что разряд продолжал быть перемежающимся (1427), так что даже при этих наиболее благоприятных условиях образованию каждой отдельной кисти предшествовала индукция, и необходимой подготовкой для самого разряда была сильная поляризация смежных частиц.

1452. Кистеобразную форму разрывного разряда можно получить не только в воздухе и газах, но и в гораздо более плотных веществах. Я получал ее в *скипидаре* от конца провода, проходившего через стеклянную трубку в жидкость, содержащуюся в металлическом сосуде. Кисть была небольших размеров, и получить ее было очень трудно; разветвления отличались своей простотой, были удалены друг от друга и обнаруживали значительное расхождение. Свечение было чрезвычайно слабо, так что для его наблюдения требовалась совершенно темная комната. Когда в жидкости имелось небольшое количество твердых частиц, например пыли или шелка, то кистевой разряд получался значительно легче.

1453. Схождение или слияние различных линий разряда (1412) прекрасно видно на кистевом разряде в воздухе. Это обстоятельство может представлять некоторое затруднение для тех, кто не привык видеть в каждом разряде одинаковое проявление сил в противоположных направлениях, и считает, что положительный кистевой (может быть, по причине общепринятого выражения «направление тока») разряд указывает на истечение первоначальной силы в различных направлениях, а не на стремление сойтись и соединиться для движения по одной общей линии. Обыкновенный случай кистевого разряда можно для пояснения сравнить с разрядом, происходящим, если к сильно наэлектризованному стеклу приблизить согнутый палец; тогда происходит разряд; от стекла расходятся разветвления кисти, на пальце они сходятся в искру. Возможно получить разряд между сильно возбужденным шеллаком и возбужденным стек-

лом машины, хотя этот опыт воспроизводится трудно; если разряд проходит, то он, сообразно свойствам заряженных тел, являет вид кисти на каждом из концов, посередине же — искра; этим прекрасно иллюстрируется стремление разряда облегчать подобное же действие, как я описывал на одной из предшествующих страниц (1418).

1454. В различных газах кистевой разряд обладает характерными особенностями, что указывает на связь с частицами этих веществ — связь еще более значительную, чем в случае искры (1422, 1423). Это явление находится в резком контрасте с тем постоянством разряда, которое наблюдается, когда различные вещества берутся в качестве *проводников*, у которых должны начинаться кистевые разряды. Так, когда я брал такие вещества и предметы, как дерево, папка, древесный уголь, селитра, лимонная кислота, щавелевая кислота, окись свинца, хлорид свинца, карбонат кали, литой поташ, крепкий раствор поташа, купоросное масло, сера, сернистая сурьма и гематит, то не наблюдалось никаких различий в характере кистевых разрядов, за исключением того, что (а это зависело от того, что они действовали как лучшие или худшие проводники) разряд от машины происходил с большей или меньшей легкостью и быстротой.¹

1455. Вот некоторые из тех явлений, которые я наблюдал в различных газах у положительно заряженных поверхностей и при различных давлениях. Вообще действие разрежения было одинаково для всех газов: сначала проскакивали искры; последние постепенно переходили в кисти, разветвления которых увеличивались и становились более отчетливыми; потом, при дальнейшем разрежении, они начинали спадать и собираться друг около друга, и, наконец, происходило образование сквозного потока от проводника к проводнику; после этого от проводников

¹ Исключение должно быть, конечно, сделано для тех случаев, когда ствол кисти, превращаясь в искру, вызывает в этом месте некоторое рассеяние или даже разложение вещества и, таким образом, приобретает в этом месте более или менее характерную окраску.

к стеклянным стенкам сосуда устремлялось несколько боковых потоков; последние утолщались, становились более прозрачными на вид и сменялись сплошным постоянным свечением, обволакивающим разрядный провод. Эти явления менялись в зависимости от размеров сосуда (1477), степени разрежения и характера разряда электричества от машины. Когда последнее происходило в виде ряда последовательных искр, явления получались чрезвычайно красивые; при этом действие искры, получаемой от небольшой машины, было равно действию, производимому *постоянным* разрядом значительно более мощной машины, а иногда и превосходило его.

1456. В о з д у х. В воздухе при обычных давлениях легко получались красивые положительные кисти, окрашенные в знакомый нам пурпуровый цвет. В разреженном воздухе разветвления простираются на большую длину и заполняют весь шар (1477); свечение становится значительно ярче и обнаруживает красивый пурпуровый цвет, иногда с оттенком розового.

1457. К и с л о р о д. При обыкновенных давлениях кистевой разряд очень плотен, сжат и обладает тускло белесым цветом. В разреженном кислороде форма и внешний вид разряда улучшаются; цвет приближается к пурпуровому, но все это выражено куда менее ярко, чем в воздухе.

1458. А з о т дает кистевые разряды у положительной поверхности с большой легкостью — значительно большей, чем все другие испытанные мною газы; разряды почти всегда прекрасны по форме, свечению и цвету, а в разреженном азоте они просто великолепны. В отношении количества испускаемого света они превосходят разряды во всех других газах.

1459. В о д о р о д при обычных давлениях давал кистевой разряд лучше, чем кислород, но не мог равняться с азотом; цвет разряда был зеленовато-серый. В разреженном водороде разветвления были прекрасны по форме и отчетливости, но бледны по окраске, мягко бархатистого вида и совсем не похожи на разветвления в азоте. При крайнем разрежении газа свечение имело бледную серо-зеленую окраску.

1460. С в е т и л ь н ы й г а з. Кистевые разряды получались лишь с трудом, что представляет полный контраст с азотом. Разряды были короткие и сильные, обычно зеленоватого цвета, и по характеру в значительной степени напоминали искру, ибо возникали как у положительного, так и у отрицательного концов; часто, когда между двумя кистями имелся темный промежуток известной длины, можно было все же услышать быстрый резкий звук, характерный для искры, как если бы разряд проходил сквозь газ внезапно, напоминая в этом отношении искру. В разреженном светильном газе формы кисти были выражены лучше, но свечение оставалось очень слабым, а цвет—сероватым.

1461. У г л е к и с л ы й г а з при обыкновенных давлениях давал кисти очень невзрачные в отношении размеров, свечения и окраски, что, вероятно, связано с присущей этому газу склонностью давать разряд в виде искры (1422). В разреженной углекислоте кисть лучше по форме, но в отношении свечения слаба; она имеет тусклый зеленоватый или пурпуровый оттенок, меняющийся в зависимости от давления и других условий.

1462. Г а з о о б р а з н а я с о л я н а я к и с л о т а. В этом газе очень трудно получить кистевый разряд при обыкновенных давлениях. При постепенном увеличении расстояния между закругленными концами искры внезапно прекращались, когда промежуток достигал примерно одного дюйма, а разряд, который продолжал проходить через газ внутри шара, совершался бесшумно и без свечения. Иногда удавалось на несколько моментов получить короткую кисть, но она быстро пропадала. Даже когда я пользовался перемежающимся искровым током (1455) от машины, мне лишь с трудом удавалось получать кистевой разряд, и то очень короткий, хотя я пользовался стержнями с закругленными концами (примерно 0,25 дюйма диаметром), которые раньше легко давали кистевые разряды в воздухе и азоте. В то время как соляная кислота являла такие затруднения, великолепные кисти исходили из различных частей машины в окружающий воздух. При разрежении газа образование кисти облегчалось, но в общем кисть была невзрачна, сплюсненной

формы; свечение было слабо; кисти у положительной и отрицательной поверхностей мало отличались друг от друга. При дальнейшем разрежении газа получалось небольшое число больших разветвлений бледно-синеватого цвета, совершенно непохожих на разветвления в азоте.

1463. Во всех этих газах различные формы разрывного разряда можно расположить в один общий ряд и проследить постепенный переход от одной крайности к другой, т. е. от искры к свечению (1405, 1526), или, быть может, к еще более отличной от них разновидности, которую мы назовем темным разрядом (1544—1560); но все же поразительно наблюдать, как каждый из них сохраняет свой особый характер, в то же время подчиняясь одному и тому же общему закону. Так, в соляной кислоте очень трудно получить кистевой разряд, место которого здесь занимает почти темный разряд, по легкости получения напоминающий искру. Мало того, в соляной кислоте я *никогда* не наблюдал искры, в которой бы имелся темный участок. В азоте искра легко переходит в кистевой разряд. В углекислом газе искровой разряд, повидимому, происходит с легкостью; в то же время этот газ, в противоположность азоту, представляет затруднения при получении кистевого разряда и, в противоположность соляной кислоте, не способен поддерживать в течение долгого времени искру. Эти различия лишний раз подкрепляют, во-первых, те наблюдения над искрой, которые производились в различных газах (1422, 1423), а затем те заключения, которые вытекают из них относительно связи электрических сил с частицами вещества.

1464. Особые свойства азота в отношении электрического разряда (1422, 1458) должны, несомненно, существенно влиять на форму и на частоту появления молнии. Это—газ, с наибольшей легкостью дающий светящиеся ветви, при помощи которых разряд распространяется на расстояния большие, чем во всех других исследованных газах; далее, он составляет четыре пятых

нашей атмосферы; при атмосферных электрических явлениях одна, а иногда и обе индуктивные силы сосредоточиваются на частицах воздуха; последний нельзя считать хорошим проводником, хотя на его проводимость, вероятно, и оказывают влияние частицы содержащейся в нем влаги. По всем этим основаниям присущая азоту особая способность давать начало разряду и производить его в форме кисти или разветвлений, вероятно, существенно связана с его электрической ролью в природе, так как он весьма серьезно действует на свойства и условия разряда, если таковой происходит. Весь вопрос о разряде в газах и через газы представляет большой интерес, и хотя бы уже с точки зрения атмосферного электричества заслуживает обширного и тщательного экспериментального исследования.

Различие между разрядами у положительной и отрицательной поверхностей проводников

1465. Я в предыдущем говорил об этом общеизвестном явлении ровно столько, сколько было совершенно необходимо; поэтому я могу собрать здесь все, что я имею сказать по этому вопросу. Кистевые разряды, наблюдаемые в воздухе у положительной и отрицательной поверхностей, обнаруживают весьма замечательное различие, правильное и полное понимание которого имело бы, несомненно, чрезвычайное значение для электрофизики; оно пролило бы яркий свет на рассматриваемый нами вопрос, т. е. на молекулярное действие диэлектриков под влиянием индукции и на его последствия; оно, повидимому, легко поддается экспериментальному исследованию.

1466. Рассматриваемое различие принято было раньше выражать так: положительно заряженное острие дает в воздух кистевые разряды, а то же самое острие, будучи заряжено отрицательно, дает явления звезды. Это справедливо только для плохих проводников, а для металлических проводников — в том случае, если их заряжать прерывисто или если они находятся под действием индукции со стороны. Если металлическое острие свободно выступает в воздухе, положительное и отрицательное

свечение очень мало отличаются по внешнему виду, и различие это можно обнаружить лишь при очень внимательном исследовании.

1467. В зависимости от разных условий, это явление чрезвычайно изменчиво, но так как мы должны исходить из какого-нибудь определенного положения, то, может быть, его можно будет высказать в следующем виде: если для получения кистевого разряда взять металлический провод с закругленным концом в атмосферном воздухе, то кистевые разряды, образующиеся при отрицательном заряде провода, оказываются очень невзрачными и небольшими по сравнению с теми, которые получаются при положительном заряде. Или иначе: если большой металлический шар, соединенный с электрической машиной, зарядить *положительно* и постепенно приближать к нему тонкое изолированное острие, то еще на значительном расстоянии на острие появляется звездочка, которая, хотя и становится ярче, но не теряет формы звезды до того момента, пока острие подходит к шару вплотную; если же шар заряжен отрицательно, то, как и раньше, на значительном расстоянии на острие появляется звезда; но когда оно подвигается ближе (в моем случае на расстоянии $1\frac{1}{2}$ дюйма), на нем образуется кистевой разряд, простирающийся до отрицательного шара; если острие подходит еще ближе (на расстоянии $\frac{1}{8}$ дюйма), кистевой разряд прекращается, и проскакивают яркие искры. Я полагаю, что этими изменениями исчерпываются все различия; они, повидимому, указывают, что отрицательно заряженная поверхность стремится сохранить характер своего разряда неизменным, а положительно заряженная поверхность, наоборот, при подобных же условиях допускает большое разнообразие.

1468. В свойствах отрицательного разряда в воздух имеется несколько пунктов, которые заслуживают внимания. Выступающий в воздух металлический стержень, диаметром в 0,3 дюйма, с закругленным концом, заряжался отрицательно и давал короткий, сопровождаемый шумом, кистевой разряд (рис. 129). Как на-глаз (1427, 1433), так и по звуку (1431) было установлено,

что отдельные разряды следовали друг за другом очень быстро, т. е. за один и тот же промежуток времени их было в семь или восемь раз больше, чем в том случае, когда стержень был в такой же степени заряжен положительно. Когда стержень был положителен, легко было превратить кистевой разряд в свечение, вращая машину несколько быстрее (1405, 1463); когда же стержень был заряжен отрицательно, то никакими усилиями этого получить не удавалось. Даже если подносить руку к проводу, единственным следствием оказывалось увеличение числа кистевых разрядов за данный промежуток и повышение, в связи с этим, тона звука.

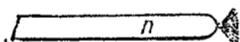


Рис. 129.

1469. На острие, находившемся против отрицательного кистевого разряда, появлялась звезда; приближение острия вызывало уменьшение размеров и ослабление шума кистевого разряда и, наконец, его прекращение; отрицательный конец становился бесшумным и темным, но все же способным давать место разряду.

1470. Когда к отрицательному кистевому разряду приближался закругленный конец более тонкого провода (рис. 130), последний, становясь положительным вследствие индукции, на

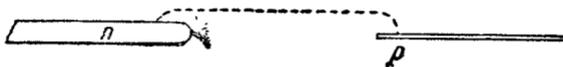


Рис. 130.

расстоянии 8 дюймов давал спокойное свечение, причем отрицательный кистевой разряд продолжался. При дальнейшем приближении провода производимый отрицательным кистевым разрядом звук погасался, указывая на более быстрое следование разрядов (1431); на еще более близком расстоянии из положительного конца выступали разветвления и отчетливые кистевые разряды; в то же время отрицательная кисть сокращалась в поперечном размере и уплотнялась, образуя своеобразную узкую

продолговатую кисть, напоминающую по форме волосяную кисточку; таким образом оба кистевых разряда существовали одновременно, но сильно отличались друг от друга формой и внешним видом и, в особенности, более быстрым следованием отрицательных разрядов друг за другом по сравнению с положительными. Если для такого же опыта служил более тонкий положительный провод, на последнем появлялось сначала свечение, а потом кистевой разряд; одновременно изменялся и отрицательный разряд; при некотором определенном расстоянии между ними оба они становились чрезвычайно схожими по внешнему виду, и мне казалось, что они звучали в унисон; во всяком случае, звуки их гармонировали; таким образом интервалы между разрядами были либо изохронными, либо находились в простых отношениях. При более быстром вращении машины и при тех же проводах отрицательная поверхность становилась темной и бесшумной, а на положительной появлялось свечение. При еще быстром вращении машины последнее переходило в искру. Более тонкие положительные провода давали другие видоизменения явлений, но в их рассмотрение я здесь входить не стану.

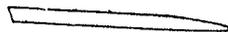


Рис. 131.

1471. Затем вместо толстого стержня к отрицательному кондуктору присоединялся более тонкий (1468), конец которого постепенно суживался в затупление, как изображено на рис. 131; интересно было наблюдать, что, несмотря на изменение я кистевого разряда, общий ход явлений не менялся. Конец стержня давал короткий отрицательный кистевой разряд, который не менялся при приближении руки или большой проводящей поверхности, пока последняя не оказывалась настолько близко, что вызывала искру. Тонкое острие, помещенное против конца на некотором расстоянии, светилось; когда я приближал его, оно не уничтожало свечения и шума отрицательного кистевого разряда, а только стремилось образовать кисть на себе самом; эта кисть при еще меньшем расстоянии переходила в искру, шедшую от одной поверхности к другой.

1472. Когда в воздухе одновременно производятся отчетливые отрицательный и положительный кистевые разряды, связанные друг с другом, то первый почти всегда обнаруживает сжатую форму, как изображено на рис. 132, чрезвычайно напоминающая форму, свойственную этому положительному разряду, когда на него сбоку индуктивно влияют близко расположенные положительные тела. Такую же сжатую форму имеет кистевой разряд, исходящий из точки входящего угла у положительного кондуктора (рис. 133).

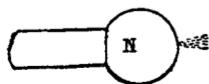


Рис. 132.

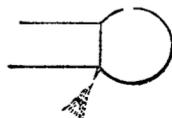
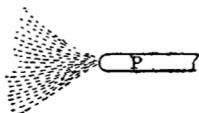


Рис. 133.

1473. Химическая природа вещества проводников (1454) не влияет на характер отрицательного кистевого разряда, разве только тем, что сказывается их большая или меньшая проводимость.

1474. Разрежение обыкновенного воздуха около отрицательно заряженного шарика или затупленного конца способствовало развитию отрицательного кистевого разряда; мне кажется, что действие это было сильнее, чем при положительном разряде; впрочем, действие это велико и в том и в другом случае. Можно было получить обширные разветвления от отрицательно наэлектризованного шарика или конца стержня к тарелке воздушного насоса, на которой был установлен сосуд с воздухом.

1475. Очень существенные изменения относительной формы и свойств положительный и отрицательный разряды обнаруживают при замене того диэлектрика, в котором они производятся. Это различие настолько велико, что указывает на своеобразную зависимость этой формы разряда от природы того газа, в котором он происходит; это опровергает представле-

ние, будто газы являются только препятствиями для разряда и действуют все одинаково, влияя только давлением (1377).

1476. Для *воздуха* преобладание положительного кистевого разряда — факт общеизвестный (1467, 1472). В *азоте* оно так же сильно и даже сильнее, чем в воздухе (1458). В *водороде* положительный кистевой разряд теряет часть своего превосходства — он в нем не так хорош, как в азоте или воздухе; наоборот, отрицательный заряд, повидимому, не ухудшается (1459). В *кислороде* положительная кисть оказывается сжатой и невзрачной, тогда как отрицательная не уменьшается; эти два разряда были настолько похожи друг на друга, что часто на-глаз не удавалось отличить один от другого; сходство сохранялось при постепенном разрежении кислорода. В *светильном газе* кистевые разряды по сравнению с азотом (1460) получаются с трудом, и по своему общему виду положительный разряд только незначительно превосходит отрицательный — как при обыкновенных, так и при низких давлениях. В *углекислоте* так же имело место это сходство разрядов. В *газообразной соляной кислоте* положительный кистевой разряд был очень немногим лучше отрицательного; при этом как тот, так и другой получались с трудом (1462) по сравнению с той легкостью, с которой они появляются в азоте или воздухе.

1477. Эти опыты производились с латунными стержнями толщиной примерно в четверть дюйма; стержни были с закругленными концами; концы стояли друг против друга внутри стеклянного шара, диаметром в 7 дюймов, содержавшего исследуемый газ. При присоединении к стержню электрическая машина непосредственно сообщала ему в одних случаях положительный, в других — отрицательный заряд.

1478. Итак мы видим, несмотря на то, что превосходство положительного кистевого разряда над отрицательным есть явление общее, это различие достигает наибольшей силы в азоте и воздухе; наоборот, в углекислоте, соляной кислоте, светильном газе и кислороде оно уменьшается и, наконец, почти исчезает. Таким образом в этом явлении, как и во всех прочих, изученных

до сих пор, опыты свидетельствуют в пользу того представления, которое объясняет эти результаты непосредственной связью электрических сил с молекулами вещества, принимающего участие в самом явлении (1421, 1423, 1463). Даже когда при действии общего закона возникают особые явления, то принятая нами теория представляется вполне способной их объяснить.

1479. Прежде чем перейти к дальнейшему исследованию вероятной причины этого различия между положительным и отрицательным кистевыми разрядами, я хотел бы иметь в руках результаты нескольких нынеготавливаемых мною опытов; я полагаю, что данная серия «Исследований» и без того затянулась, и на этом ее закончу; я надеюсь, что через несколько недель я буду в состоянии вновь приступить к этому исследованию и целиком выполнить свою задачу (1306).

Королевский институт

23 декабря 1837 г.

ТРИНАДЦАТАЯ СЕРИЯ

Раздел 18. Об индукции (продолжение). Глава IX. Разрывной разряд (продолжение). Особенности положительного и отрицательного разрядов в форме искры или кисти. Разряд со свечением. Темный разряд. Глава X. Конвекционный разряд или разряд путем переноса. Глава XI. Отношение пустоты к электрическим явлениям. *Раздел 19. Природа электрического тока.*

Поступило 22 февраля. Доложено 15 марта 1838 г.

РАЗДЕЛ 18

Об индукции (продолжение)

ГЛАВА IX

Разрывной разряд (продолжение). Особенности положительного и отрицательного разрядов в форме искры или кисти

1480. Обратимся теперь к общему различию между положительным и отрицательным разрывными разрядами; наша цель при этом заключается в том, чтобы проследить возможно глубже причину этого различия и выяснить, от чего оно главным образом зависит: от заряженных проводников или от промежуточного диэлектрика; а так как оно, повидимому, в воздухе и азоте (1476) особенно сильно, то начнем с наблюдения явлений в воздухе.

1481. Чтобы составить себе общее понятие об этом явлении, лучше обратиться к поверхностям значительных размеров, а не к остриям, так как последние влекут за собой, как побочное следствие, образование потоков вещества (1562). Поэтому в моих исследованиях я пользовался шариками и стержнями различных

диаметров; в последующем даны некоторые из главных результатов.

1482. Возьмем два шарика, сильно различающиеся своими размерами, один, например, в полдюйма, а другой — в три дюйма диаметром, расположим их на концах стержней таким образом, чтобы каждый из них можно было наэлектризовать с помощью машины и заставить давать искровые разряды по направлению к другому, и пусть последний в это время будет не изолирован; тогда, как известно, если маленький шарик заряжен положительно, а большой отрицательно, искры получаются значительно более длинные, чем если маленький шарик заряжен отрицательно, а большой положительно. В первом случае искры имеют в длину 10 или 12 дюймов, а во втором — всего один или полтора дюйма.

1483. Но прежде чем перейти к описанию дальнейших опытов, я скажу о двух терминах, которыми, как и многими другими, я обязан одному из своих друзей, и которые, я полагаю, было бы полезно ввести в употребление. При обыкновенном индуктивном действии важно различать, у которой из заряженных поверхностей индукция возникает и поддерживается, т. е. если два или более металлических шара или другие массы вещества связаны индуктивно, то важно указать, которые из них заряжены сначала и которые приводятся ими в противоположное электрическое состояние. Я предлагаю называть тела, которые заряжены сначала, *индуцирующими* телами, а те, которые вследствие индукции приходят в противоположное состояние, — *индуцируемыми*. Такое различие необходимо не потому, что между суммарным действием *индуцирующих* и *индуцируемых* сил существует какое-либо различие, а потому что, когда шар *A* является индуцирующим, то он приводит в индуцируемое состояние не только находящийся против него шар *B*, но также и многие другие окружающие проводники, несмотря на то, что некоторые из них могут отстоять на значительное расстояние; в результате этого, если сделать индуцирующим сначала один шар, а затем другой, шары оказываются связанными друг с другом не совсем одинаково,

хотя в обоих случаях *один и тот же шар* приводится в *одно и то же состояние*.

1484. Есть одна вольность, которую я иногда буду позволять себе в выражениях; я хотел бы пояснить, в чем она заключается, и указать границы, в которых я буду ею пользоваться. Она заключается в том, что отдельные искровые или кистевые разряды я буду называть *положительными* или *отрицательными* в соответствии с тем, у какой из поверхностей я буду считать их *возникающими* — у положительной или отрицательной. Мы говорим о кистевом разряде как о положительном или отрицательном, когда он исходит из поверхностей, которые перед этим находились в указанных состояниях, а опыты г. Уитстона доказывают, что разряд *действительно начинается* у заряженной поверхности и отсюда распространяется в воздух (1437, 1438) или другой диэлектрик. Согласно моим представлениям, *искры* также возникают, или начинаются в одной определенной точке (1370) — именно там, где напряжение раньше всего возрастает до максимальной степени. Когда это можно определить, как, например, при одновременном употреблении больших и малых шаров (в этом случае разряд возникает, или начинается, у последних), я буду называть этот разряд, который проходит *сразу*, положительной искрой, если наибольшее напряжение получалось сначала у положительно заряженной поверхности, — отрицательной, если требуемое напряжение получалось раньше у отрицательной поверхности.

1485. Был собран прибор, изображенный на рис. 134; *A* и *B* представляли собой латунные шары, значительно отличающиеся по диаметру; они были укреплены на металлических стержнях, которые могли перемещаться сквозь втулки в изолирующих стойках, так что расстояние между шариками можно было менять по желанию. Большой шар *A*, диаметром в два дюйма, был соединен с изолированным латунным проводником, который можно было заряжать положительно или отрицательно непосредственно от машины с цилиндром: маленький шарик *B*, в 0,25 дюйма диа-

метром, был соединен с разрядным проводом (292) и хорошо заземлен. Толщина латунных стержней, на которых сидели шарики, была равна 0,2 дюйма.

1486. Когда большой шарик был заряжен *положительно* и являлся индуцирующим (1483), то до тех пор, пока промежутков между шариками не достигал 0,49 дюйма, наблюдались отрицательные искры; затем при расстояниях от 0,49 до 0,51 дюйма происходили то кистевые, то искровые разряды, а при 0,52 дюйма и выше — одни только кистевые разряды. Когда большой шар был заряжен *отрицательно* и являлся индуцирующим, то при промежутках до 1,15 дюйма возникала только положительная искра, от 1,15 до 1,55 — искра и кистевые разряды, а для получения одних только кистевых разрядов требовался промежуток, по крайней мере, в 1,65 дюйма.

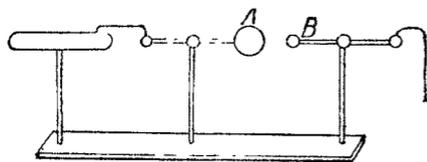


Рис. 134.

1487. После этого шарик *A* и *B* были переставлены местами. Тогда при *положительном* индуцирующем шарике *B* одни положительные искры имели место лишь до 0,67 дюйма; от 0,68 до 0,72 возникали и искровые и кистевые разряды, а от 0,74 и выше — одни только положительные кистевые разряды. Когда я делал маленький шарик *B* отрицательным и индуцирующим, то вплоть до 0,40 появлялись одни отрицательные искры, затем при расстоянии в 0,42 — искра и кистевые разряды, тогда как от 0,44 и выше имели место только шумные кистевые разряды.

1488. Таким образом мы обнаруживаем значительные различия в зависимости от того, какую роль играют шарики: роль индуцирующих или индуцируемых. Если сделать маленький шарик заряженным *положительно*, действуя на него индукцией, то он дает искру почти вдвое длиннее искры, производимой тем же шариком, когда он заряжен положительно и является индуцирующим; соответствующая, хотя при данных условиях и не столь

резко выраженная разница, обнаруживалась, когда он был заряжен *отрицательно*.¹

1489. Другие результаты таковы: если зарядить положительно маленький шарик, он дает значительно более длинную искру, чем когда он заряжен отрицательно; если зарядить маленький шарик отрицательно, он дает кистевой разряд с большей легкостью, чем когда он заряжен положительно, если судить по влиянию, оказываемому увеличением расстояния между шариками.

1490. Когда расстояние между шариками было ниже 0,4 дюйма, так что маленький шарик должен был давать искры — все равно, положительные или отрицательные, — мне не удавалось наблюдать какого-либо постоянного различия ни в легкости возникновения, ни в числе искр, проскакивавших в течение данного промежутка времени. Когда же расстояние было таково, что маленький шарик при отрицательном заряде давал кистевые разряды, то разряды от него в виде отдельных отрицательных кистей происходили значительно чаще, чем при положительном заряде, независимо от того, какой вид они имели: искр или кистевых разрядов.

1491. Отсюда ясно, что когда электричество от шарика исходит в виде кистевых разрядов, то последние происходят значительно чаще; и когда отдаваемое таким образом электричество является отрицательным, каждый из них содержит или уносит значительно меньше электрической силы, чем когда оно положительно.

1492. Во всех опытах, подобных описанному, момент перехода от искры к кистевому разряду в значительной степени зависит от состояния электрической машины и размеров кондуктора, соединенного с разряжающимся шариком. При сильном действии машины и значительных размерах кондуктора, когда для каждого разряда быстро накапливается большое количество силы, длина промежутка, при которой искры сменяются кистевыми

¹ Подобные же опыты с различными газами см. п. 1518. Дек. 1838 г.

разрядами, становится больше, но в основном явление остаётся одинаковым.¹

1493. Хотя эти результаты и указывают на разительные и своеобразные соотношения электрической силы или сил, они не дают указаний об относительной степени заряда, которую маленький шарик воспринимает всякий раз перед тем, как возникает разряд, т. е. они не говорят, в каком случае он приобретает более высокое напряжение: когда разряду непосредственно предшествует отрицательное или положительное состояние. Чтобы выяснить этот важный пункт, я расположил два разрядных промежутка так, как изображено на рис. 135. *A* и *D* суть латунные шары по два дюйма диаметром, *B* и *C* — латунные шарики поменьше, диаметром в 0,25 дюйма; вилки *L* и *R*, на

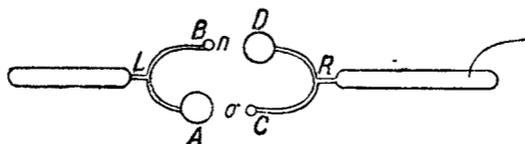


Рис. 135.

которых они укреплены, были сделаны из латунной проволоки диаметром в 0,2 дюйма. Расстояние между большим и маленьким шариками на одной и той же вилке было равно 5 дюймам, чтобы два разрядных промежутка *n* и *o* можно было достаточно удалить друг от друга и прекратить влияние одного на другой. Вилка *L* была соединена с выступающим цилиндрическим кондуктором, который можно было с помощью электрической машины заряжать по желанию положительно или отрицательно, а вилка *R* была соединена с другим кондуктором, отведенным к земле. Оба разрядных промежутка *n* и *o* можно было изменять по желанию; при этом длина их от времени до времени измерялась введением диагональной шкалы. Очевидно, что поскольку шарики *A* и *B*

¹ Подобные же опыты с различными газами см. в пп. 1510—1517. Дек. 1838 г.

соединены с одним и тем же проводником, они всегда заряжались одновременно, и что разряд может иметь место по направлению к любому из шариков, соединенных с разрядным проводом; при этом разрядные промежутки n и o можно было надлежащим образом сравнивать друг с другом в отношении влияния большого и маленького шарика, когда они заряжены в воздухе положительно или отрицательно.

1494. Когда оба промежутка n и o были равны 0,9 дюйма, а шарики A и B были заряжены положительно и являлись индуцирующими, разряд происходил только в n и шел от маленького шарика на проводнике к большому шарика разрядного провода; большей частью он происходит в виде положительного кистевого разряда, хотя один раз — в виде искры. Когда шарики A и B были индуцирующими и заряжены отрицательно, разряд, тем не менее, происходил от того же маленького шарика в n в виде непрерывной отрицательной кисти.

1495. Я уменьшил промежутки n и o до 0,6 дюйма. Когда шарики A и B были индуцирующими и положительными, весь разряд происходил в n в виде положительной кисти; когда A и B были индуцирующими и отрицательными, весь разряд происходил опять же в n в виде отрицательной кисти.

1496. Таким образом легкость разряда у отрицательного маленького шарика, повидимому, не так уже значительно отличается от легкости разряда у положительного. Если различие и существовало, то ведь всегда имелось два маленьких шарика, по одному в каждом состоянии, так что разряд мог возникать у того, который наиболее благоприятствовал этому явлению. Единственное отличие заключалось в том, что один находился в индуцирующем, а другой в индуцируемом состоянии, и тот, который в данный момент находится в индуцирующем состоянии, все равно положительном или отрицательном, неизменно оказывался в более выгодных условиях.

1497. Чтобы противодействовать этому вредному влиянию, я сделал промежуток n равным 0,79, а промежуток o — 0,58 дюйма. В этом случае, если шарики A и B были индуцирующими

и *положительными*, разряд был примерно одинаков в обоих промежутках. С другой стороны, когда шарики *A* и *B* были индуцирующими и *отрицательными*, разряд все еще происходил у обоих, но преимущественно у *n*; как будто разряд у маленького шарика происходил с несколько большей легкостью, когда он заряжен отрицательно, и с меньшей легкостью, когда он заряжен *положительно*.

1498. Действие маленьких шариков и концевых стержней, служивших для этих и подобных опытов, правильно сравнивать с действием, проявляемым такими же шариками и стержнями, когда они наэлектризованы и находятся в обычном воздухе на значительно большем расстоянии от проводников, чем то, на которое они отстояли в этих случаях друг от друга. Прежде всего, разряд, даже в виде искры, согласно моим представлениям, обусловлен и, так сказать, зарождается в одном месте на поверхности маленького шарика (1374); он возникает, когда напряжение в этом месте повышается до известной максимальной степени (1370); это возникновение разряда сперва в одном определенном месте легко проследить в случае перехода искры в кистевой разряд при увеличении расстояния; в конце концов становится очевидным даже время, которое необходимо для того, чтобы произвести это явление (1436, 1438). Далее, большие шарики, которыми я пользовался, можно было бы заменить шарами большего диаметра на еще большем расстоянии и шаг за шагом представить их себе переходящими в стены комнат, которые при обычных условиях представляют собой индуцируемые тела, в то время как индуцирующим телом является заряженный положительно или отрицательно маленький шарик.

1499. Однако, как давно выяснено, маленький шарик представляет собой не что иное, как затупленное острие, а острие, с точки зрения электричества, является просто маленьким шариком; так что, когда острие или затупленный конец испускают в воздух кистевые разряды, то они действуют точно так же, как действовали в описанных опытах маленькие шарики, и в силу тех же свойств и соотношений.

1500. В отношении этих опытов можно с полным правом утверждать, что большой отрицательный шар является столь же существенным для разряда, как и маленький положительный шарик, и что большой отрицательный шар проявляет такое же превосходство над большим положительным шаром (который оказывается неспособным извлечь искру из находящегося против него маленького отрицательного шарика), какое маленький положительный шарик имеет над маленьким отрицательным; вероятно, когда будет выяснена действительная причина этого различия и когда она будет отнесена скорее за счет состояния частиц диэлектрика, чем за счет размеров проводящих шаров, то такое наблюдение получит весьма важное значение. Но в настоящее время, пока мы еще заняты исследованием самого вопроса, мы можем принять, — и в действительности это так и есть, — что на поверхности меньших шариков силы обладают большим напряжением, чем на поверхностях больших (1372, 1374), что поэтому момент разряда определяется первыми, так как они раньше доходят до того напряженного состояния, которое для них необходимо, и что независимо от того, приведены ли они в это состояние индукцией по направлению к стенам комнаты или по направлению к служившим мне большим шарам, их прекрасно можно сравнивать друг с другом в отношении их влияния и действий.

1501. Итак, я прихожу к следующим заключениям: во-первых, когда две равные небольшие поверхности, одинаково расположенные в воздухе, наэлектризованы одна положительно, а другая отрицательно, то та, которая заряжена отрицательно, может дать разряд в воздух при напряжении немного более низком, чем то, которое требуется для положительного шарика; во-вторых, при разряде от положительной поверхности за одно и то же время исходит значительно больше электричества, чем от отрицательной (1491). Последнее заключение в достаточной мере подтверждается описанным выше (1468) оптическим анализом положительного и отрицательного кистевых разрядов, причем оказалось, что разряды последнего рода следуют

друг за другом в пять или шесть раз чаще, чем разряды первого рода.¹

1502. Если же с помощью мощной машины получать от небольшого шарика кистевые разряды или кистеобразные искры, то можно до некоторой степени понять и привести в связь различия, которые обнаруживаются, когда он заряжен положительно или отрицательно. Известно, что когда шарик заряжен положительно, искры, которые он дает, значительно длиннее и сильнее, чем когда он заряжен отрицательно, и к тому же он дает их с большей легкостью (1482); действительно, хотя искра и уносит за один раз значительно больше электричества, но напряжение, при котором она возникает, во всяком случае лишь немного выше. С другой стороны, если шарик заряжен отрицательно, то хотя разряд может начинаться при более низкой степени напряжения, он длится лишь очень недолго, и каждый раз уходит лишь небольшое количество электричества. Эти обстоятельства непосредственно связаны друг с другом, ибо длина, которой может достигнуть положительная искра, и размеры и длина положительного кистевого разряда являются следствием того, что от положительной поверхности при одном разряде может уходить значительное количество электричества (1468, 1501).

1503. Однако, если исходить из моего представления об индукции, то приписывать эти явления только виду и размерам проводника значило бы рассматривать весь вопрос весьма несовершенным способом (1523, 1600). Я думаю, что эти явления целиком зависят от того, как поляризуются частицы промежуточного диэлектрика, и я уже привел некоторые экспериментальные указания на различие, представляемое в этом отношении различными электриками (1475, 1476). Как я буду иметь случай показать в дальнейшем, характер поляризации в различных диэлектриках может быть весьма различен. Скажем, в обыкновен-

¹ Чтобы изучить взаимные влияния небольших положительных и отрицательных поверхностей, можно было бы с большим успехом пользоваться каплями резинового клея, растворами или другими жидкостями. См. ниже (1581, 1593).

ном воздухе то, что кажется следствием преобладания положительной силы у поверхности маленького шарика, может быть обусловлено более высоким состоянием поляризации частиц воздуха или азота в нем; может быть, отрицательная часть более сжата, тогда как положительная более разлита или наоборот (1687 и т. д.). В самом деле, такое состояние могло бы вызвать определенные явления у положительного шарика, которые у отрицательного шарика не имели бы места в такой же степени, точно так же, как если бы сам положительный шарик обладал собственной особой, независимой силой.

1504. Предположение, что эти явления обусловлены больше диэлектриком, чем шариком, находит себе подтверждение в характере двух разрядов. Если небольшой положительный шарик испускает кистевые разряды с разветвлениями в десять дюймов длиной, то каким образом шарик может влиять на ту часть разветвления, которая находится от него на расстоянии в пять дюймов? И при этом та часть кисти, которая находится за пределами этого расстояния, имеет тот же характер, как предшествующая ей, и несомненно, что этот характер придают ей те же причины, те же законы. Я считаю, что действие друг на друга смежных частиц диэлектрика полностью доказано, и потому в таком разветвлении усматриваю распространение разряда от частицы к частице, причем каждая из них для последующей частицы производит то же, что для нее самой производила предыдущая и что производил для первой частицы заряженный металл, около которого она находилась.

1505. Что касается общих условий и отношений положительного и отрицательного кистевых разрядов в плотном и разреженном воздухе, а также в других средах и газах, то если они происходят в различное время и в разных местах, они, конечно, независимы друг от друга. Но если они происходят у расположенных друг против друга острий или шариков в одно и то же время и в одном и том же сосуде с газом (1470, 1477), они часто находятся в определенной связи; можно создать такие условия, чтобы они были либо изохронными и возникали в одинаковом количестве

и одновременно, либо возникали в кратном отношении, т. е. по два или три отрицательных разряда на один положительный, либо чередовались, либо появлялись без всякой правильности. Все эти изменения я наблюдал, и если принять во внимание, что воздух в сосуде, а также стекло сосуда могут воспринимать кратковременный заряд, то легко понять общую природу и причину этих явлений.

1506. Опыты, подобные опытам в воздухе (1485, 1493), были произведены в различных газах; результаты их я опишу как можно короче. Прибор изображен на рис. 136; он состоял из стеклянного колокола, имевшего в наиболее широкой части одиннадцать дюймов в диаметре, а в высоту, до основания горла,—десять с половиной дюймов. Шарики обозначены теми же буквами, как на рис. 135, и были так же расположены друг относительно друга, но *A* и *B* находились на отдельных подвижных проводках, которые, однако, были обычно соединены наверху с помощью поперечного провода *W*; последний был соединен с латунным кондуктором, который получал от машины положительный или отрицательный заряд. Стержни шариков *A* и *B* были градуированы там, где они двигались через пробки, так что на приложенной в этом месте диагональной шкале можно было отсчитать расстояние между данными шариками и теми, которые находились под ними. Что касается положения шариков в сосуде и их взаимного расположения, то *C* и *D* отстояли друг от друга на три с четвертью дюйма; высота их над тарелкой воздушного насоса равнялась пяти дюймам, а расстояние между каждым из шариков и стеклянной стенкой сосуда было не меньше одного и трех четвертей дюйма, обычно больше. Шарики *A* и *D* имели, как и раньше, по два дюйма

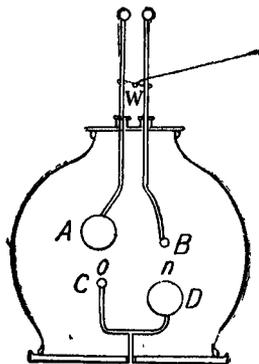


Рис. 136.

Стержни шариков *A* и *B* были градуированы там, где они двигались через пробки, так что на приложенной в этом месте диагональной шкале можно было отсчитать расстояние между данными шариками и теми, которые находились под ними. Что касается положения шариков в сосуде и их взаимного расположения, то *C* и *D* отстояли друг от друга на три с четвертью дюйма; высота их над тарелкой воздушного насоса равнялась пяти дюймам, а расстояние между каждым из шариков и стеклянной стенкой сосуда было не меньше одного и трех четвертей дюйма, обычно больше. Шарики *A* и *D* имели, как и раньше, по два дюйма

в диаметре (1493), а шарики *B* и *C*—только по 0,15 дюйма.

Одновременно с только что описанным прибором я иногда пользовался другим, представлявшим собой открытый разрядник (рис. 137), с помощью которого можно было производить сравнение разряда в воздухе и в других газах. Шарики *E* и *F*, по 0,6 дюйма диаметром каждый, были соединены подвижными стержнями с другими шариками и изолированы. Латунный кондуктор, когда им пользовались для сравнения, соединялся одновременно с шариками *A* и *B* (рис. 136) и с шариком *E* этого прибора (рис. 137), шарики же *C*, *D* и *F* присоединялись к разрядному проводу.

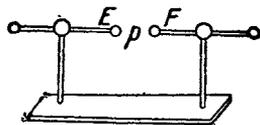


Рис. 137.

1507. Сначала я приведу в виде таблицы результаты, относящиеся к способности газов задерживать разряд. Шарики *A* и *B* (рис. 136) раздвигались, чтобы исключить их действие, и действия, получаемые у *B* и *D* в газовом промежутке *n*, сравнивались с действиями в воздушном промежутке *p* между шариками *E* и *F* (рис. 137). Таблица достаточно понятна сама по себе. Естественно, что когда воздушный промежуток был меньше того, который приведен в первом или третьем столбцах цифр, то весь

Длина постоянного промежутка <i>n</i> между <i>B</i> и <i>D</i> = 1 дюйму	Расстояние <i>p</i> в долях дюйма			
	когда меньший шарик <i>B</i> был индуцирующим и положительным, разряд происходил целиком:		когда меньший шарик <i>B</i> был индуцирующим и отрицательным, разряд происходил целиком:	
	в воздушном промежутке для значений ниже:	в газе в промежутке <i>n</i> при значениях больших, чем:	в воздушном промежутке для значений ниже:	в газе в промежутке <i>n</i> при значениях больших, чем:
В воздухе	$p = 0,40$	$p = 0,50$	$p = 0,28$	$p = 0,33$
В азоте	0,30	0,65	0,31	0,40
В кислороде	0,20	0,49	0,22	0,24
В водороде	0,33	0,52	0,27	0, 0
В светящем газе	0,20	0,90	0,20	0,27
В углекислоте	0,64	0,30	0,30	0,45

разряд происходил в воздухе, а когда длина воздушного промежутка превосходила цифры второго или четвертого столбца, весь разряд шел через газ. При промежуточных расстояниях разряд происходил то здесь, то там, т. е. иногда в воздухе, иногда в газе.

1508. Эти результаты, поскольку они имеют значение, в общем совпадают с подобными же результатами, приведенными в предыдущей серии (1388), и подтверждают заключение, что различные газы задерживают разряд в весьма различной степени. По всей вероятности, они не так надежны, как предыдущие, ибо стеклянный сосуд, не будучи покрыт лаком, действовал неправильно; иногда он принимал определенную степень заряда как непроводник, а в других случаях действовал как проводник, т. е. переносил и расстраивал этот заряд. Другой причиной различия этих отношений являются, несомненно, относительные размеры разрядных шариков в воздухе: в прежнем случае они были весьма различных размеров, а здесь одинаковы.

1509. В будущих опытах, которые будут претендовать на точность, влияние этих факторов должно быть проверено, и прежде всего самые газы должны содержаться не в стеклянных, а в металлических сосудах.

1510. Следующий ряд результатов был получен при одинаковых величинах промежутков n и o (рис. 136); они касались вопроса, в каких случаях разряд у меньшего шарика происходит с большей легкостью: когда последний заряжен положительно или отрицательно (1493).

1511. В воздухе при длине промежутков, равной 0,4 дюйма, причем шарики A и B были индуцирующими и положительными, разряд через n и o был почти одинаков; когда A и B являлись индуцирующими и были заряжены отрицательно, разряд происходил главным образом через n , в виде отрицательного кистевого разряда. Когда промежутки были равны 0,8 дюйма, а A и B были индуцирующими и положительными, весь разряд проходил через n в виде положительной кисти; при A и B индуцирующих и отрицательных, разряд целиком проходил через n в виде

отрицательной кисти. Таким образом эти результаты не разрешают сомнения, присуща ли отрицательному шарикку большая легкость разряда, чем положительному.

1512. *А з о т*. Промежутки *n* и *o* равны 0,4 дюйма; *A* и *B* индуцируют, заряжены положительно: разряд — через оба промежутка, главным образом через *n*, путем положительных искр; *A* и *B* индуцируют, заряжены отрицательно: одинаковый разряд в *n* и *o*. При промежутках, равных 0,8 дюйма: *A* и *B* индуцируют, заряжены положительно — разряд целиком через *n* путем положительной кисти; *A* и *B* индуцируют, заряжены отрицательно — разряд большей частью через *o*, путем положительных кистей. Таким образом, хотя различие в этом газе и не является убедительным, все же, повидимому, при положительном маленьком шарике разряд происходит с гораздо большей легкостью.

1513. *К и с л о р о д*, Промежутки *n* и *o* равны 0,4 дюйма: *A* и *B* индуцируют, заряжены положительно — разряд почти одинаков; *A* и *B* индуцируют, заряжены отрицательно — разряд главным образом через *n*, путем отрицательных кистей. При промежутках, равных 0,8 дюйма: *A* и *B* индуцируют, заряжены положительно — разряд как через *n*, так и через *o*; *A* и *B* — индуцируют, заряжены отрицательно — разряд целиком в *o*, в виде отрицательных кистей. Таким образом здесь наиболее легкий разряд дает, повидимому, отрицательный маленький шарик.

1514. *В о д о р о д*. Промежутки *n* и *o* равны 0,4 дюйма: *A* и *B* индуцируют, заряжены положительно — разряд почти одинаков; *A* и *B* индуцируют, заряжены отрицательно — разряд преимущественно через *o*. Промежутки равны 0,8 дюйма: *A* и *B* индуцируют, заряжены положительно — разряд большей частью через *n* в виде положительных кистей; *A* и *B* индуцируют, заряжены отрицательно — разряд преимущественно через *o* в виде положительных кистей. В этом случае положительный разряд происходит как будто с большей легкостью.

1515. *С в е т и л ь н ы й* г а з: *n* и *o* равны 0,4 дюйма; *A* и *B* индуцируют, заряжены положительно — разряд почти пол-

ностью через *o* путем отрицательных искр; *A* и *B* индуцируют, заряжены отрицательно; разряд почти целиком через *n*, путем отрицательных искр. Промежутки равны 0,8 дюйма, а *A* и *B* — индуцируют, заряжены положительно — разряд преимущественно через *o* путем положительных кистей; *A* и *B* индуцируют, заряжены отрицательно — весь разряд через *n* в виде отрицательных кистей. Здесь с большей легкостью происходит отрицательный разряд.

1516. Углекислый газ: *n* и *o* равны 0,4 дюйма; *A* и *B* индуцируют, заряжены положительно — разряд почти весь через *o* или отрицателен; *A* и *B* индуцируют, заряжены отрицательно — разряд почти целиком через *n* или отрицателен. Промежутки равны 0,8 дюйма; *A* и *B* индуцируют, заряжены положительно — разряд преимущественно через *o*, или отрицателен; *A* и *B* индуцируют, заряжены отрицательно — разряд целиком через *n* или отрицателен. В этом случае отрицательный шарик имел решительное преимущество в смысле легкости разряда.

1517. Итак, если можно доверять опыту в этом его виде, то отрицательный маленький шарик имеет над положительным маленьким шариком решительное преимущество в смысле облегчения разрывного разряда в некоторых газах, как углекислота и светильный газ (1399); для других газов это заключение кажется более сомнительным, а в некоторых, наоборот, представляется возможным, что преимущество может оказаться на стороне положительного маленького шарика. Все эти результаты были получены при почти одинаковом атмосферном давлении.

1518. С этими газами, заключенными в воздушном сосуде (рис. 136), я произвел несколько опытов, касающихся перехода искры в кистевой разряд и аналогичных тем, которые описаны выше для случаев на открытом воздухе (1486, 1487). Я приведу в таблице результаты, касающиеся вопроса, когда с искрой начинают чередоваться кистевые разряды. Дальнейшие результаты были столь пестры, а характер разряда в разных газах столь раз-

личен, что включать полученные результаты без дальнейшего исследования вряд ли было бы полезно. При промежутках меньших, чем указанные, разряд всегда происходит в виде искры.

	Разряд между шариками <i>B</i> и <i>D</i>		Разряд между шариками <i>A</i> и <i>C</i>	
	маленький шарик <i>B</i> , индуцирующий <i>пол.</i>	маленький шарик <i>B</i> , индуцирующий <i>отр.</i>	большой шарик <i>A</i> , индуцирующий <i>пол.</i>	большой шарик <i>A</i> , индуцирующий <i>отр.</i>
Воздух	0,55	0,30	0,40	0,75
Азот	0,30	0,40	0,52	0,41
Кислород	0,70	0,30	0,45	0,82
Водород	0,20	0,10		
Светильный газ	0,13	0,30	0,30	0,14
Углекислота	0,82	0,43	0,60	Свыше 1,80, нехватило места

1519. Я настоятельно указываю, что искры возникали и при значительно более длинных промежутках, чем эти: таблица дает только те расстояния, ниже которых разряд происходит в виде искры без исключений. Уже намечаются некоторые любопытные отношения различных газов к разряду, но было бы бесполезно рассматривать их раньше, чем они будут выяснены дальнейшими опытами.

1520. Я не могу не упомянуть здесь, что проф. Белли (Bellì) в Милане опубликовал ряд весьма ценных опытов об относительном рассеянии положительного и отрицательного электричества в воздухе: ¹ он находит, что последнее рассеивается с значительно большей легкостью, чем первое.

1521. Я произвел несколько опытов подобного же рода, но поддерживал при этом высокий заряд; результаты получились менее разительными, чем у синьора Белли, и я не счел их удо-

¹ Bibliothèque Universelle, 1836, сентябрь, стр. 152.

влетворительными. В связи с этим вопросом я хотел бы упомянуть об одном вредном для опыта явлении, которое в течение долгого времени смущало меня. Когда я позволял стекать положительному электричеству с острия в воздухе, то электромметр указывал определенное напряжение на кондукторе, соединенном с острием, но при продолжении опыта это напряжение возрастало на несколько градусов; если затем кондуктор заряжался отрицательно, причем к нему было присоединено то же самое острие и все прочие условия оставались неизменными, то сначала наблюдалась определенная степень напряжения, которая при продолжении опыта также возрастала. При возвращении кондуктора в положительное состояние напряжение было сначала низко, но, как и ранее, возрастало, и то же самое имело место, когда кондуктор снова заряжался отрицательно.

1522. Этот результат указывал, повидимому, на то, что острие, испускавшее одно электричество, приводилось им на короткое время в состояние более благоприятное для испускания другого. Однако при более близком рассмотрении я нашел, что явление было обусловлено индуктивным влиянием того воздуха, который, будучи заряжен острием и увеличиваясь перед ним в количестве, по мере того как продолжалось истечение положительного или отрицательного электричества, отклонял и удалял часть индуктивного влияния окружающих стен и при этом кажущимся образом действовал на свойства острия; в действительности же изменение напряжения вызывал сам диэлектрик.

1523. Результаты, связанные с условиями, различными для положительного и отрицательного разряда, окажут на теорию учения об электричестве значительно большее влияние, чем мы можем себе представить в настоящее время, особенно, если они, как я полагаю, зависят от особенностей и степени того поляризованного состояния, в которое приходят молекулы соответственных диэлектриков (1503, 1600). Так, например, отношение нашей атмосферы и земли в ней к возникновению искры или ки-

стего разряда должно быть особенным, а не случайным (1464). Иначе оно не согласовалось бы с другими метеорологическими явлениями, также, конечно, зависящими от специальных свойств воздуха, которые как нельзя более гармонируют с функциями животной и растительной жизни, но, тем не менее, ограничены в своих действиях не расплывчатыми правилами, а чрезвычайно точными законами.

1524. Уже при прохождении через воздух гальванического тока мы видим особенности положительного и отрицательного разрядов у двух острий из древесного угля; и если заставить эти разряды проходить одновременно по направлению к ртути, то это различие становится еще более заметным как по звуку, так и по количеству образующихся паров.

1525. Представляется весьма вероятным, что с этими явлениями может быть связано также замечательное различие, недавно замеченное и описанное моим другом проф. Даниелем,¹ а именно: когда одинаковые по размеру цинковый и медный шарики были соответственно помещены в медный и цинковый полые шары, также одинакового размера, и возбуждались с помощью электролитов или диэлектриков одинаковой крепости и состава, то цинковый шарик значительно превосходил своим действием цинковый полый шар; в самом деле, нетрудно понять, как на полярность частиц будут влиять условия на положительной поверхности, а именно — которую из двух обкладок электролита представляет собой цинк: большую или меньшую. Возможно даже, что с помощью различных электролитов или диэлектриков это отношение можно значительно менять, а в некоторых случаях даже изменить на обратное.

Разряд со свечением

1526. Разрывной разряд, который проявляется в виде *свечения* (1359, 1405), имеет совсем особый характер и очень красив; повидимому, он состоит в быстром и почти непрерывном заряже-

¹ Philosophical Transactions, 1838, стр. 47.

нии воздуха, находящегося поблизости к проводнику и соприкасающегося с ним.

1527. Такого типа разряд получается при *уменьшении заряжающей поверхности*. Так, когда стержень диаметром 0,3 дюйма с закругленным концом заряжался положительно в обычном воздухе, то конец его испускал тоикие кистевые разряды, но иногда последние исчезали, и на их месте появлялось спокойное фосфоресцирующее непрерывное свечение, покрывавшее весь конец провода и распространявшееся на очень небольшое расстояние от металла в воздух. При стержне диаметром в 0,2 дюйма свечение возникало с большей легкостью. При еще более тонких стержнях, а также при тупых конических остриях, оно возникало с еще большей легкостью; при тонком острие мне не удавалось получать в свободном воздухе кистевого разряда, а только такое свечение. Положительное свечение и положительная звездочка в действительности представляют собой одно и то же.

1528. *Увеличение мощности машины* ведет к образованию свечения, ибо закругленные концы, которые при слабом действии машины дают одни только кистевые разряды, легко производят свечение, когда машина в порядке.

1529. *Разрежение воздуха* удивительно благоприятствует явлениям светящегося разряда. Латунный шарик в два с половиной дюйма диаметром, находясь под колоколом воздушного насоса, будучи индуцирующим и заряженным положительно, покрывался свечением на площади диаметром в два дюйма, когда давление понижалось до 4,4 дюйма ртутного столба. Путем небольшого налаживания шарик удавалось весь целиком покрыть этим свечением. Если взять латунный шарик в 1,25 дюйма диаметром и на нем индуцировать положительный заряд от индуцирующего отрицательного острия, то эти явления при высоких степенях разрежения исключительно красивы. Свечение обволакивало положительный шарик, и яркость его постепенно усиливалась; в конце концов оно становилось очень ярким; оно поднималось также, наподобие низкого пламени, на высоту

в полдюйма или более. Прикосновение к стенкам стеклянного сосуда действовало на это мерцающее пламя; оно принимало кольцеобразную форму, вроде короны на верхушке шарика; оно казалось гибким и довольно медленно вращалось, примерно четыре или пять раз в секунду. Эта кольцеобразная форма и вращение могут быть очень хорошо приведены в связь с механическими потоками (1576), происходящими под колоколом. Красота этого свечения в разреженном воздухе часто значительно усиливается искровым разрядом у кондуктора (1551, примечание).

1530. Получить в воздухе *отрицательное свечение* при обычных давлениях трудно. Мне не удавалось его получить с помощью моей машины ни на стержне диаметром в 0,3 дюйма, ни на значительно более тонких стержнях; и до сих пор остается под вопросом, чем, собственно, является, даже в случае тонких острий, то, что называется отрицательной звездой: очень ослабленным и мелким, но все же перемежающимся кистевым разрядом или же свечением, подобным получающемуся на положительном острие.

1531. В разреженном воздухе отрицательное свечение получается легко. Если закругленные концы двух металлических стержней, диаметром примерно по 0,2 дюйма, внести внутрь полого шара или сосуда (воздух внутри должен быть разрежен) и поставить друг против друга на расстоянии примерно четырех дюймов, то на обоих стержнях можно получить свечение, покрывающее не только концы, но и дюйм или два за ними. Если поместить *шарики* под колоколом воздушного насоса, то, подбирая расстояние и степень разрежения, удастся покрыть отрицательный шарик свечением, независимо от того, что представляла собой его поверхность — индуцирующее или индуцируемое тело.

1532. При стержнях необходимо принимать во внимание, что когда они расположены концентрически в сосуде или полом шаре, то свет от одного стержня часто отражается от стенок сосуда на другой стержень, вследствие чего последний кажется светящимся, когда в действительности этого нет. Это явление можно обнаружить, смещая глаза во время наблюдения; избежать его можно, пользуясь вычурными стержнями.

1533. Любопытно наблюдать связь между *светящимися, кистевыми* и *искровыми* разрядами, получаемыми от положительных или отрицательных поверхностей. Так, когда поверхность, у которой возникает разряд, заряжена отрицательно, то, начавшись искрой, разряд переходит в кистевой значительно скорее (1484), чем когда она заряжена положительно; но дальше в порядке изменений мы обнаруживаем, что положительный кистевой разряд переходит в свечение гораздо раньше отрицательного. Таким образом, хотя и положительная и отрицательная поверхности дают эти три состояния в одном и том же порядке, последовательность не является в точности одинаковой. Возможно, что когда эти положения будут подробно изучены, что необходимо сделать возможно скорее, то мы обнаружим, что для каждого отдельного газа или диэлектрика получаются характерные для него особые результаты, в зависимости от того способа, которым его частицы приходят в полярное электрическое состояние.

1534. Свечение происходит во всех газах, которые я в этом отношении исследовал. К таковым относятся: воздух, азот, кислород, водород, светильный газ, углекислота, соляная кислота, сернистая кислота и аммиак. Мне показалось, что я получил его также в скипидаре, но если это и так, то разряд был очень тускл и слаб.

1535. Свечение всегда сопровождается ветром, либо исходящим непосредственно из светящейся части, либо направленным непосредственно к ней, причем первый случай является наиболее частым. Это происходит даже тогда, когда разряд возникает на шаре значительных размеров. Если же созданы условия, затрудняющие или предотвращающие свободный и правильный приток воздуха к участку, обнаруживающему свечение, то последнее исчезает.

1536. Мне никогда не удавалось ни разложить или разделить свечение на видимые элементарные перемежающиеся разряды (1427, 1433), ни получить другое доказательство перемежающегося действия, а именно — слышимый звук (1431).

Неудача попыток обнаружить это на-глаз объясняется, может быть, протяженностью свечения, которая мешает разделению видимых изображений; в самом деле, если разряд является перемежающимся, то мало правдоподобно, чтобы все его части чередовались сразу с совпадающей во времени правильностью.

1537. Все эти явления указывают на то, что *свечение* происходит от непрерывного заряжения или разряжения воздуха, причем в первом случае оно сопровождается потоком воздуха от места свечения, а в последнем — к нему. Подходя к заряженному проводнику, окружающий воздух, достигнув того места, где напряжение частиц возросло в достаточной степени (1370, 1410), получает заряд и затем удаляется под совокупным действием сил, которым он подвергнут; уступая дорогу другим частицам, которые, в свою очередь, подходят и заряжаются, он в то же время и сам способствует образованию того потока, который приводит их в требуемое положение. Так благодаря закономерности сил в результате создается постоянное и спокойное явление, заключающееся в том, что заряжаются последовательные порции воздуха, образуются потоки и непрерывное свечение.

1538. Мне часто удавалось вызывать свечение предпочтительно у конца стержня, который, будучи предоставлен самому себе, давал бы кистевой разряд; я достигал этого просто тем, что способствовал образованию около стержня потока воздуха; с другой стороны, нетрудно превратить свечение в кистевой разряд, для чего следует действовать либо на поток воздуха (1574, 1579), либо на индуцирующее действие вблизи него.

1539. Переход от свечения, с одной стороны, к кистевому, а с другой — к искровому разряду, а, следовательно, и их взаимную связь можно установить различными путями. Такие условия, которые стремятся облегчить получение заряда воздухом от наэлектризованного проводника, а также те, которые стремятся удержать напряжение на том же уровне, несмотря на разряд, способствуют образованию свечения; наоборот действуют обстоятельства, стремящиеся воспрепятствовать получению воз-

духом заряда и благоприятствующие накоплению перед разрядом электрической силы, которая, ослабляясь этим действием, должна быть повышена, прежде чем напряжение сможет достигнуть требуемой степени; эти обстоятельства способствуют перемежающемуся разряду, а, следовательно, образованию кисти или искры. Так, разрежение воздуха, удаление больших проводящих поверхностей из непосредственной близости светящихся концов, поднесение к ним заостренного конца помогают поддерживать или производить свечение, а уплотнение воздуха, поднесение руки или другой большой поверхности, постепенное приближение разряжающего шарика стремятся превратить свечение в кистевой разряд или даже искру. Все эти условия можно проследить и свести удобопонятным образом к их относительной способности благоприятствовать образованию либо *непрерывного* разряда в воздух, что дает свечение, либо *прерывистого* разряда, который производит кисть или, при более напряженном состоянии, искру.

1540. Вращением электрической машины закругленный конец латунного стержня диаметром в 0,3 дюйма покрывался положительным свечением; при остановке машины, вследствие чего заряд соединенного с ней кондуктора должен был уменьшиться, свечение непосредственно перед своим полным прекращением на момент превращалось в кисти; это доказывало, что для конца определенных размеров требуется определенный постоянный заряд большого напряжения. Когда машина вращалась так, что напряжение было как раз достаточно низко для того, чтобы давать непрерывные кистевые разряды из конца в воздух, то приближение тонкого острия превращало этот кистевой разряд в свечение. Когда машину вращали так, что из конца в воздух исходило непрерывное свечение, то при постепенном приближении руки свечение сжималось к самому концу провода, затем выбрасывало светящуюся точку, которая превращалась затем в ствол (1426) и давала, в конце концов, сильно разветвленные кисти. Все эти результаты находятся в согласии с вышеизложенным (1539).

1541. Если смазать закругленный конец провода жиром, вместо свечения сейчас же получается кисть. От шарика, снабженного притупленным концом, который может по желанию более или менее выдвигаться за поверхность шарика, можно получить все стадии разряда, начиная с свечения, через кистевую, и кончая искрой.

1542. Весьма интересно и поучительно проследить также переход от искры к свечению через промежуточное состояние истечения, между концами в сосуде, содержащем более или менее разреженный воздух; но я боюсь быть слишком многословным.

1543. Все эти явления показывают, что свечение по своей природе представляет собой в точности то же, что и светящаяся часть кисти или разветвления, а именно — электризацию воздуха; единственное отличие заключается в том, что свечение представляется непрерывным благодаря постоянному возобновлению одного и того же действия в данном месте, тогда как разветвление обусловлено кратковременным, независимым и перемежающимся действием того же рода.

Темный разряд

1544. Теперь я хочу обратить внимание на одно весьма замечательное обстоятельство, имеющее место в светящемся разряде, сопровождаемом отрицательным свечением; его, может быть, в дальнейшем можно будет проследить вплоть до разрядов значительно более высокого напряжения. Концы двух латунных стержней по 0,3 дюйма диаметром, пропущенные с противоположной стороны в стеклянный шар, были приведены в соприкосновение, и окружающий их воздух был сильно разрежен. Затем через них был пропущен разряд электричества от машины, и в то время, как он происходил, концы были раздвинуты. В момент раздвижения конец отрицательного стержня покрылся непрерывным свечением, а положительный конец оставался совершенно темным. При дальнейшем увеличении расстояния, на конце положительного стержня появлялось пурпуровое све-

чение, или дымка, которая распространялась по направлению к отрицательному стержню, удлиняясь по мере увеличения промежутка; она, однако, никогда не соединялась с отрицательным свечением, так что между ними всегда оставалось небольшое темное пространство. Это пространство, длиною примерно в $\frac{1}{16}$ или $\frac{1}{20}$ дюйма, видимо, не менялось по своим размерам и положению относительно отрицательного стержня; отрицательное свечение также не менялось. Независимо от того, чем был отрицательный конец: индуцирующим или индуцируемым, явление получалось одинаковое. Странно было видеть, как при раздвижении концов пурпуровый туман ослабевал или удлинялся, а темное пространство и отрицательное свечение оставались, тем не менее, неизменными (рис. 138).

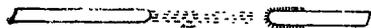


Рис. 138.

1545. Затем я брал два шарика под большим колоколом воздушного насоса и разрезал воздух. Происходили обычные переходы в характере разряда, но всякий раз, когда светящийся поток, который появляется при прекращении искрового и кистевого разрядов, сам превращался в «тлеющее» свечение, на шариках наблюдалось темное пространство, независимо от того, который из шариков был индуцирующим — заряженный положительно или отрицательно.

1546. Иногда, при больших размерах отрицательно заряженного шарика, при сильном действии машины и при высоком разрежении, половина поверхности шарика покрывалась свечением, и затем при поверхностном наблюдении казалось, что темное пространство отсутствует; но это была ошибка, которая получалась вследствие перекрытия выпуклого конца отрицательного свечения и вогнутого конца положительного столба. Более тщательные наблюдения и опыты убедили меня в том, что когда имеется отрицательное свечение, то оно никогда видимым образом не касается светящейся части положительного разряда, но всегда имеется темное пространство.

1547. Это странное разделение положительного и отрицательного разрядов, поскольку речь идет об их светящихся частях, при условиях, которые можно было бы считать весьма благоприятными для их слияния, вероятно, связано с их различиями, когда они имеют форму кистевого разряда и, может быть, объясняется той же причиной. Далее, весьма вероятно, что темные участки, наблюдаемые в слабых искрах, также связаны с этими явлениями.¹ Понять их было бы очень важно, ибо совершенно ясно, что во многих опытах, в частности во всех тех, которые я приводил, разряд сквозь темные части диэлектрика достигает в точности той же самой величины, как и в светящейся части. Такое различие в результатах, казалось бы, предполагает разницу в тех способах, которыми одна и другая электрические силы приводятся в равновесие на соответствующих участках; если же рассматривать все эти явления, как дающие лишнее доказательство того, что причины индукции и разряда мы должны искать в состоянии частиц диэлектрика, то было бы чрезвычайно существенно, если бы мы могли в точности определить, в чем заключается разница в действии в темной и в светящейся частях.

1548. Темный разряд через воздух (1552), который в упомянутом случае виден совершенно ясно (1544), приводит нас к исследованию того, могут ли вообще частицы воздуха осуществлять разряд от частицы к частице, не становясь при этом светящимися; и такое исследование существенно, потому что оно связано с той степенью напряженности, которая необходима для того, чтобы разряд начался (1368, 1370). Разряд между *воздухом* и *проводниками* без световых проявлений является весьма обычным, и несветящиеся разряды с помощью переносящих [заряды] потоков воздуха и других жидкостей (1562, 1595) также достаточно обычны, но эти случаи сюда не относятся, ибо они не представляют собой разрядов между изолирующими частицами.

¹ См. опыты проф. Джонсона, *Silliman's Journal*, XXV, стр. 57.

1549. Было изготовлено приспособление для получения разряда между двумя шариками (1485, рис. 134), но вместо того, чтобы присоединить индуцируемый шарик непосредственно к разрядному проводу, он был соединен с внутренней обкладкой лейденской банки, а разрядный провод — с ее внешней обкладкой. Затем машина приводилась во вращение, и обнаруживалось, что всякий раз, как у шариков *A* и *B* возникал звучный и светящийся разряд, лейденская банка заряжалась; в противном случае банка заряда не получала. Это имело место и тогда, когда вместо шариков были взяты небольшие закругленные концы, а также независимо от того, каким образом они были установлены. Следовательно, при таких условиях разряд даже между воздухом и проводниками всегда оказывался светящимся.

1550. Зато в других случаях получались такие явления, которые делают почти несомненным, что через воздух может проходить темный разряд. Если из закругленного конца металлического стержня, диаметром в 0,15 дюйма, извлекать хороший отрицательный кистевой разряд, то приближение к нему навстречу более тонкого стержня или затупленного острия при определенном расстоянии вызовет сокращение кистевого разряда, и на положительном индуцируемом проводе появится свечение, сопровождаемое исходящим от него потоком воздуха. Но поскольку воздух заряжен как у положительной, так и у отрицательной поверхностей, то мы, повидимому, вправе заключить, что эти заряженные части где-либо в промежутке встречаются и там разряжаются друг друга, не производя никаких световых явлений. Возможно, впрочем, что воздух, наэлектризованный около светящегося конца положительно, может перемещаться по направлению к отрицательной поверхности и действительно создавать ту атмосферу, куда устремляются видимые отрицательные кистевые разряды; в таком случае нет необходимости в возникновении темного разряда. Однако я склоняюсь к предыдущему мнению и полагаю, что в пользу такого взгляда говорит уменьшение размеров отрицательного кистевого разряда при появлении свечения на конце противоположного провода.

1551. Пользуясь в качестве диэлектрика разреженным воздухом, очень легко получить световые явления в виде кистей или свечения на обоих проводящих шариках или концах, причем промежуток остается темным; при этом действие протекает настолько быстро, что мы, по моему мнению, не вправе считать, что разряд через темный участок осуществляется потоками воздуха. Так, если разредить воздух вокруг двух шариков, диаметром примерно в один дюйм каждый, отстоящих на 4 или более дюйма, и затем поместить их на пути разряда, то у машины создается прерывистый или искровой ¹ ток, и от любого из концов можно получить световые явления; в то же время большая или меньшая часть промежутка остается совершенно темной. Разряд будет проходить так же внезапно, как задерживаемая искра (295, 334), т. е. в течение почти неощутимо малого промежутка времени, а в таком случае, я полагаю, он должен проходить сквозь темный участок в виде истинного разрывного разряда, а не путем конвекции.

1552. Отсюда я заключаю, что темный разрывной разряд может действительно происходить (1547, 1550), и что в светящемся кистевом разряде видимые разветвления могут и не представлять собой полного протяжения разрывного разряда (1444, 1452); что, наоборот, каждое из них может иметь темную наружную часть, как бы обволакивающую каждый участок, по которому распространяется разряд. Возможно даже, что существуют такие явления, как темные разряды, аналогичные по форме кистевым и искровым, но не светящиеся ни в одной своей части (1445).

1553. Возникновение темного разряда, во всяком случае, показывает, при каком низком напряжении может происходить разрывной разряд (1548), и указывает на то, что яркость окончательного кистевого или искрового разряда никак не связана

¹ Под искровым током я подразумеваю ток, проходящий в виде ряда искр между кондуктором машины и прибором; под непрерывным током — такой, который проходит через металлические проводники, не претерпевая притом перерыва в одном и том же месте.

с требуемым напряжением (1368, 1370). Разряд, так сказать, начинается в темноте, а свет является простым следствием того количества, которое, после возникновения разряда, притекает к этому месту и встречает там наиболее благоприятные условия для своего прохождения (1418, 1435). В качестве иллюстрации общего нарастания разряда я могу заметить, что в опытах по переходу разряда в кислороде из искрового в кистевой (1518) каждой искре непосредственно предшествовал короткий кистевой разряд.

1554. Явления, относящиеся к темному разряду в других газах, хотя в некоторых чертах и отличаются от явлений в воздухе, но подтверждают выведенные выше заключения. Два закругленных конца (1544, рис. 138) были помещены в газообразную соляную кислоту (1445, 1463), при давлении в 6,5 дюйма ртути; через прибор пропускался непрерывной ток электричества от машины; до тех пор, пока длина промежутка была около одного дюйма, возникали яркие искры; после этого они сменялись сплюснутыми кистеобразными перемежающимися свечениями на обоих концах, с темным участком между ними. Когда ток от машины был искровой, каждая искра вызывала разряд через газообразную соляную кислоту; в известном интервале разряд был светящийся; при более длинном промежутке разряд был прямолинейный и напоминал пламя или очень чахлую, кратковременную искру, отнюдь не густую и не резкую; при дальнейшем увеличении промежутка искра производила слабый кистевой разряд на индуцирующем положительном конце и свечение — на индуцируемом отрицательном, причем между ними имелся темный участок (1544); в таких случаях у кондуктора получалась тусклая и бесшумная искра, а не резкая и не звучная (334).

1555. При введении большого количества газообразной соляной кислоты до давления в 29,97 дюйма, те же самые концы давали при малых расстояниях яркие искры; когда же они отстояли друг от друга примерно на один дюйм или более, разряд обыкновенно происходил в виде очень небольших кистей и свечения, а часто свет совершенно отсутствовал, хотя электриче-

ство через газ проходило. Каждый раз, когда яркая искра проходила через указанный газ при этом давлении, она была яркой по всей длине, без всякого темного или тусклого промежутка.

1556. В светильном газе при обычных давлениях, при расстоянии около одного дюйма, разряд сопровождался короткими кистями у концов и промежуточным темным пространством в полдюйма или более, несмотря на то, что разряд сопровождался резким коротким звуком, характерным для тусклой искры, и в темной части не мог быть обусловлен конвекцией (1562).

1557. Этот газ представляет несколько любопытных явлений в отношении светлого и темного участков искрового разряда. Когда яркие искры проскакивали между концами стержней диаметром по 0,3 дюйма (1544), то рядом с наиболее яркими участками искр внезапно возникали темные части. Далее, при этих же концах, а также при шариках (1422), эти яркие искры были иногда красные, иногда зеленые, а иногда одна и та же искра была в различных местах и зеленой и красной. Далее, в описанных выше опытах (1518) при определенных промежутках проходил очень своеобразный, бледный, тусклый, но быстрый разряд, который, хотя по виду был и слаб, но имел очень прямолинейное очертание и сопровождался треском в виде хлопка, как если бы он протекал очень быстро.

1558. Водород часто давал своеобразные искры, у которых одно место было яркокрасно, а другие — тусклые, бледносеры, или же вся искра имела особый тусклый вид.

1559. Азот давал весьма замечательный разряд между двумя шариками, диаметры которых были равны соответственно 0,15 и 2 дюйма (1506, 1518), причем меньший из них заряжался отрицательно либо непосредственно, либо путем индукции. Этот своеобразный разряд происходил при промежутках от 0,42 до 0,68 дюйма или даже при 1,4 дюйма, когда большой шар был индукцирующим и положительным; разряд состоял из небольшого кистеобразного участка на маленьком отрицательном шарике, затем темного пространства и, наконец, тусклой бледной полоски на большом положительном шаре (рис. 139). Положение

темного пространства было весьма постоянно; оно, вероятно, непосредственно связано с описанным при получении отрицательного свечения темным пространством (1544). Когда в силу каких-либо обстоятельств получалась яркая искра, то контраст с особенной, описанной выше искрой был поразителен; в последней постоянно имелась бледная пурпуровая часть, которая всегда находилась по близости к положительному шару.

1560. Итак, существование темного разряда, повидимому, вполне установлено. В то же время доказано, что в различных газах он возникает не в одинаковой степени и различным образом. Отсюда, в добавление ко многим другим (1296, 1398, 1399, 1423, 1454, 1503), еще одно специфическое действие, с помощью которого также можно различать и устанавливать электрические отношения изолирующих диэлектриков, и еще один довод в пользу той молекулярной теории индукции, которая рассматривается в данный момент.¹

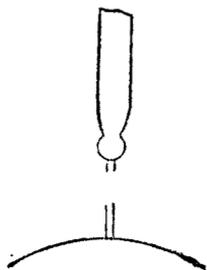


Рис. 139.

1561. То, что я имел сказать относительно разрывного разряда, получилось несколько длинно, но я считаю, что это оправдывается важностью предмета. Прежде чем закончить эти замечания, я снова хочу поднять вопрос, не имеем ли мы оснований считать напряжение или удержание [заряда] и последующий разряд в воздухе или других изолирующих диэлектриках явлениями, которые тождественны с задерживанием и разрядом в металлическом проводе и отличаются от них только по степени, правда, чуть ли не бесконечное число раз (1334, 1336). Другими словами, не можем ли мы путем ряда постепенных сближений проследить, как, начиная с разряда, происходящего в воздухе,

¹ Я не могу не сослаться здесь в виде примечания на физические взгляды Био на природу свечения электрического разряда. *Annales de Chimie*, LIII, стр. 321.

далее разряда через спермацет и воду, через растворы, а затем через хлориды, окислы и металлы, — как во всех этих случаях разряд протекает без каких-либо существенных различий в самом характере? Не можем ли мы, далее, связать незаметную проводимость воздуха, проводимость через газообразную соляную кислоту и темный разряд с несколько лучшей проводимостью спермацета и воды и почти совершенной проводимостью металлов и объединить явления, наблюдаемые на крайних концах этого ряда? И не возможно ли, что задержка и накаливание в проводе представляют собой явления, в точности соответствующие по своей природе задерживанию заряда и искры в воздухе? Если это так, то здесь снова обе крайности в свойствах диэлектриков окажутся тесно связанными, причем все отличие обусловлено, вероятно, тем способом и степенью, до которой поляризуются их частицы под влиянием индуктивных действий (1338, 1603, 1610).

Г Л А В А X

Конвекционный разряд или разряд путем переноса

1562. Последним видом разряда, который я собираюсь рассмотреть, является разряд, производимый перемещением заряженных частиц с места на место. По своей природе этот вид разряда, повидимому, сильно отличается от предшествующих (1319), но поскольку он приводит к таким же результатам, то может оказаться весьма существенным для выяснения природы не только самого разряда, но также и того, что мы называем электрическим током. Как уже замечено раньше по поводу кистевого и светящегося разрядов (1440, 1535), он часто присоединяет свое действие к действию разрывного разряда и завершает процесс нейтрализации электрических сил друг другом.

1563. Частицы, которые сначала заряжаются, а затем перемещаются, могут быть частицами как изолирующего, так и проводящего вещества, большими или малыми. Может быть, окажется полезным рассмотреть в первую очередь большую частицу проводящего вещества.

1564. Медный бак, в три фута диаметром, был изолирован и наэлектризован, но настолько слабо, что у его краев или выступающих частей не было заметного рассеяния [электричества] путем кистевых или разрывных разрядов. К баку был поднесен подвешенный на чистом белом шелковом шнуре латунный шарик диаметром в два дюйма; оказалось, что если шарик находился в течение одной — двух секунд вблизи какой-нибудь точки заряженной поверхности бака, на таком расстоянии от него (дюйма два), чтобы непосредственного заряда от бака на нем не получалось, то шарик, хотя и оставался все время изолированным, заряжался сам, и его электричество было *противоположно* электричеству бака.

1565. Наиболее сильно это действие было у краев и выступающих частей бака, а более слабо — у его стенок или тех протяженных участков поверхности, которые, согласно выводам Кулона, обладают наиболее слабым зарядом. Очень сильным заряд оказывался у стержня, несколько выступавшего из бака. Явление происходило как при положительном, так и при отрицательном заряде меди; оно получалось также с маленькими шариками, вплоть до шариков диаметром в 0,2 дюйма и менее, а также с заряженными проводниками меньшего размера, чем вышеупомянутый медный бак. Оказывается, что в некоторых случаях почти невозможно пронести изолированный шарик на расстоянии одного — двух дюймов от заряженной плоской или выпуклой поверхности без того, чтобы он получил заряд, противоположный заряду этой поверхности.

1566. Это явление есть явление индукции между телами, а не сообщения [электричества]. Когда шарик связывается с положительно заряженной поверхностью посредством промежуточного диэлектрика, его противоположные стороны приводятся в противоположные состояния, причем сторона, направленная к баку, является отрицательной, а наружная сторона — положительной. К шарiku направлено больше индуцирующего действия, чем проходило бы в этом месте при отсутствии шарика, и это происходит по многим причинам, — между прочим и потому,

что он — проводник, и отпадает сопротивление частиц того диэлектрика, который находился бы в противном случае на месте шарика (1298); с другой стороны, действующая положительная поверхность шарика, выдаваясь из бака дальше, чем в отсутствии проводящего вещества, более свободно действует через остающийся диэлектрик на окружающие проводники и, таким образом, благоприятствует усилению той индуцирующей полярности, которая направлена по его пути. Что касается того, что сила на внешней поверхности шарика превышает силу на индуцирующей поверхности бака, то дело обстоит так, как если бы последняя сама выдавалась в этом направлении. Таким образом шарик приобретает состояние, подобное состоянию поверхности бака, которым оно обусловлено, но более высокое и достаточное для того, чтобы произвести разряд в воздух у своей положительной поверхности или оказать на небольшие частицы такое же действие, какому сам он подвергается со стороны бака. Эти частицы, устремляясь к нему, захватывают заряд и удаляются; таким образом шарик как целое приводится в противоположное индуцируемое состояние. Следствием этого является то, что если он подвижен, то его стремление приблизиться под влиянием всех сил к баку возрастает, и в то же время состояние его становится все более и более напряженным в отношении как полярности, так и заряда, и наконец, при определенном расстоянии происходит разряд; шарик приобретает то же состояние, что и бак, отталкивается, устремляется к тому проводнику, который расположен наиболее благоприятно для того, чтобы разрядить шарик, и здесь вновь принимает свое безразличное состояние.

1567. Мне кажется, что способ, которым индуцирующие тела действуют на расположенные вблизи их незаряженные плавающие или подвижные проводники, часто имеет именно такой характер, а в особенности, когда это действие заканчивается переносом заряда (1562, 1602). Любопытно, что главное индуцирующее тело не может отдать воздуху своего электричества, а индуцируемое тело *может* осуществить разряд силы того же

рода. При проводниках удлиненной или неправильной формы, как нити или частички пыли, это явление часто должно возникать с легкостью, а последующее притяжение — немедленно.

1568. Описанное явление, вероятно, оказывает свое влияние также при получении видоизменений в искровом разряде, упомянутых в предыдущей серии (1386, 1390, 1391); в самом деле, если бы частица пыли попала к оси индукции между шариками, то, еще находясь на некотором расстоянии от этой оси, она сама стремилась бы произвести разряд описанным способом (1566), а такое начало может настолько облегчить весь процесс (1417, 1420), что поведет к полному разряду в виде искры через эту частицу, хотя этот путь от шарика к шарiku мог бы и не быть кратчайшим. Таким образом и в случае одинаковых шариков на одинаковых расстояниях, как в уже описанных сравнительных опытах (1493, 1506), частица, находящаяся между двумя шариками, вызывала бы разряд предпочтительно между ними; и если бы даже имелось по частице между каждыми двумя шариками, то различие в ее размерах и форме давало бы временное превосходство одной паре шариков над другой.

1569. Способность частиц пыли переносить электричество высокой напряженности общеизвестна, и я уже приводил кое-какие примеры такого рода, когда говорил о пользовании прибором для индукции (1201). В основном явление это хорошо наблюдается с помощью больших легких предметов, например с помощью игрушки, называемой электрическим пауком, а если для физических опытов желательны более мелкие объекты, то с помощью дыма от тлеющей свечи из зеленого воска; дым представляет собой непрерывный поток таких частиц и тем самым делает видимым их путь.

1570. Действие и путь небольших проводящих, переносящих заряд частиц можно хорошо наблюдать, если взять в качестве диэлектрика скипидар. Несколько коротких кусков нитки могут играть роль носителей заряда, и порядок их действия является чрезвычайно интересным.

1571. В скипидаре получалось весьма замечательное явление, относительно которого у меня еще имеется сомнение, чем оно было обусловлено: переносящей способностью частиц или каким-либо другим их действием. На дне стеклянного сосуда с некоторым количеством этой жидкости находился неизолированный серебряный кружок, а сверху в жидкость погружался наэлектризованный металлический стержень с закругленным концом. Изоляция была очень хорошая, а притяжения и другие явления — очень сильные. Затем на конец стержня помещалась капелька жидкого резинового клея, и он заряжался в жидкости; резиновый клей немедленно распадался на тонкие нити и быстро расходился в скипидаре. К тому времени, как были таким образом смешаны с пинтой диэлектрика четыре капли, диэлектрик утратил значительную часть своей изолирующей способности; в жидкости больше не удавалось получить искр; и все явления, определяемые изолирующим действием, упали до очень слабой степени. Жидкость была лишь слегка мутна. Простым фильтрованием через бумагу ей можно было вернуть первоначальную прозрачность, после чего она изолировала так же хорошо, как раньше. Вода, следовательно, просто распускалась в скипидаре, не входя с ним в соединение и не растворяясь в нем; но как действовали эти мелкие частички: были ли они носителями заряда или же они скоплялись на линии наибольшего индуктивного напряжения (1350) и здесь, принимая под влиянием электрических сил удлиненную форму, объединяли свои действия и образовали полоску вещества, обладающего значительной по сравнению с скипидаром проводимостью, — это до сих пор остается под вопросом.

1572. Аналогия между действием твердых проводящих, переносящих заряд частиц и действием заряженных частиц жидких изолирующих веществ, действующих как диэлектрики, весьма очевидна и проста; но в последнем случае как результат неизбежно появляются токи в подвижной среде. Индуцирующее действие приводит частицы в полярное состояние, за которым, по достижении определенной напряженности (1370), следует передача части той силы, которая вначале находится на провод-

нике; в результате частицы заряжаются и под объединенным влиянием сил отталкивания и притяжения направляются к разряжающемуся месту или в такую точку, где эти индуцирующие силы легче всего уравниваются противоположными индуцируемыми силами.

1573. Нетрудно понять, почему острие так исключительно благоприятствует возникновению токов в жидком изолирующем диэлектрике, каков, например, воздух. Напряжение, необходимое для заряда воздуха, приобретает прежде всего у конца острия (1374); именно отсюда удаляются заряженные частицы, и механической силе, которую острие оказывает на воздух для образования потока, всемерно содействует форма и расположение того стержня, окончанием которого является данное острие. В то же время, став источником активной механической силы, острие благодаря самому акту образования этой силы, т. е. разряду, препятствует приобретению такого же необходимого состояния любым другим участком стержня и, таким образом, сохраняет и поддерживает свое собственное превосходство.

1574. Весьма разнообразные и красивые явления получаются, если прикрывать острие или помещать его в замкнутое пространство; они чрезвычайно хорошо выявляют образующийся поток и подтверждают прежние заключения; необходимо помнить, что в таких случаях действие на разряд бывает двоякого рода. В самом деле, чтобы воспрепятствовать потоку, можно либо прекращать приток свежего незаряженного воздуха или задерживать удаление уже заряженного, как при электризации острия в закрытой с одного конца трубке из изолирующего вещества; либо можно менять *электрическое состояние* самого острия, изменяя его расположение по отношению к другим телам, находящимся с ним в непосредственной близости и также наэлектризованным; например, когда острие находится в металлической трубке, — с помощью этого металла; когда оно заключено в стеклянной трубке, — подобным же действием заряжен-

ных мест стекла или даже с помощью окружающего воздуха, который был заряжен и не может удалиться.

1575. Каждый раз, когда мы намерены наблюдать в жидком диэлектрике такие индуктивные явления, которые непосредственно связаны с текучестью среды и ею обусловлены, как, например, разряд из острия или притяжения и отталкивания и т. п., надо брать большую массу жидкости и такое относительное расстояние между индуцирующей и индуцируемой поверхностями, чтобы жидкость включала в себя все *линии индуктивной силы* (1369) между ними; в противном случае нельзя получить действия токов, притяжения и т. п., которые являются следствием всех этих сил. Те явления, которые возникают в открытом воздухе или внутри наполненного скипидаром шара, не будут иметь места в тех же самых веществах, если последние заключены в трубки из стекла, шеллака, серы или других подобных веществ, хотя последние и являются прекрасными изолирующими диэлектриками; таких явлений нельзя и ожидать, ибо в этих случаях полярные силы уже не рассеиваются целиком между частицами жидкости, стремящимися под их влиянием к перемещению, а оказываются теперь во многих местах связанными с частицами, которые, будучи в твердом состоянии, несмотря на свое стремление к перемещению, вынуждены оставаться неподвижными.

1576. Все разнообразие условий, которые при проводниках различной формы и строения могут давать начало потокам, согласно показывает, что последние образуются чрезвычайно просто. Если в достаточной мере повысить напряжение на поверхности *шара*, и если это напряжение будет наибольшим на участке поверхности, удобном для создания потока воздуха к нему или от него, то шар будет производить это явление так же, как острие (1537); это имеет место всякий раз, когда на шаре появляется свечение, так как для этого явления существенно наличие потока. Если взять шар такой величины, что на нем все же можно будет получить свечение, то оно будет появляться в том месте, где поток уходит от шара; оно будет находиться на стороне,

как раз противоположной месту соединения шара с стержнем; однако, если повысить напряжение в другом месте, так чтобы оно было выше напряжения на рассматриваемом участке, что легко можно осуществить с помощью индукции, то место свечения и направление потока также изменятся и перейдут к тому месту, которое в данный момент оказывается более благоприятным для их образования (1591).

1577. Например, приближение к шару руки стремится вызвать кистевой разряд, но усилением притока электричества можно сохранить условия свечения; и тогда, если перемещать руку с одной стороны шара к другой, положение свечения будет совершенно определено передвигаться вместе с рукой.

1578. Если подносить к светящемуся шару острие на расстоянии в двенадцать — четырнадцать дюймов, свечение превращается в кистевой разряд; однако при дальнейшем приближении возобновляется свечение, вероятно, вследствие разряда ветром или воздухом, исходящим от острия к шару. Это свечение вполне подчиняется движению острия, следуя за ним в любом направлении.

1579. Даже струя ветра действовала на местоположение свечения. Я подносил к шару покрытую лаком стеклянную трубку; через нее по направлению к шару воздух то продувался, то нет; тогда в первом случае местоположение свечения несколько менялось, как будто его этой струей сдувало в сторону, а такой результат и можно было предвидеть. Все эти явления прекрасно иллюстрируют общие основные причины и взаимоотношения свечения и сопровождающего его потока воздуха (1574).

1580. Пламя способствует появлению потоков в окружающем его диэлектрике. Так, если на поверхности шара, который не вызывал потоков воздуха, устроить любой величины пламя, то поток возникает с величайшей легкостью; к тому, чтобы получить эффективное действие пламени, в этом случае не встречается ни малейшего затруднения, если хоть один момент подумать о соотношении между пламенем, как частью окружающего диэлектрика, и наэлектризованным шаром (1375, 1380).

1581. Если взять вместо твердого острия проводящий конец из жидкого вещества, то такие концы прекрасно обнаруживают образование потоков, их действия и влияние на усиление условий, при которых они возникали. Направим в открытом воздухе вниз закругленный амальгамированный конец латунного стержня диаметром в 0,3 дюйма или около этого; пусть на нем висит капелька ртути, а затем сильно его наэлектризуем. Ртуть даст явление свечения; вдоль стержня устремится поток воздуха и направится от ртути прямо вниз; форма металлической капли слегка изменится: выпуклость небольшого участка около середины внизу станет больше, а кругом, поодаль от этого участка, она уменьшится. Изменение произойдет от формы *a* (рис. 140)

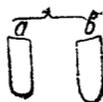


Рис. 140.



Рис. 141.

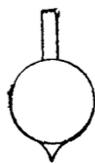


Рис. 142.

к *b*; оно почти, а может быть и целиком, обусловлено механической силой потока воздуха, проносящегося над его поверхностью.

1582. Заметим для сравнения, что при постепенном приближении шара к капле свечение переходит в кистевой разряд и, наконец, из наиболее выступающей части ртути проскакивают искры. Острие действует точно так же, но при значительно меньших расстояниях.

1583. Возьмем затем каплю крепкого раствора хлорида кальция; если сообщить ей заряд, часть ее, вероятно, будет рассеяна, но значительная часть при не слишком сильной электризации останется в форме конической капли (рис. 141), сопровождаемой сильным потоком. При свечении поверхность капли будет гладкой. Если образуется короткая слабая кисть, будет замечаться небольшое дрожательное движение в жидкости, но оба эти явления совпадают с основным наблюдаемым явлением,

а именно — с равномерной и последовательной электризацией воздуха, образованием [электрического] ветра, или потока; а также с тем видом, который жидкости придает этот поток. Если к конусу постепенно подносить разрядный шар, то в конце концов будут проскакивать искры, направленные от вершины конуса к приближаемому шару, что указывает на значительную степень проводимости данной жидкости.

1584. Когда я брал каплю воды, явления были такого же рода и легче всего получались в том случае, если с шара свешивалась капля резинового клея или сиропа (рис. 142). При медленном вращении машины получалась красивая большая капля устойчивой конической формы с вогнутым боковым очертанием и небольшим закругленным концом, на котором появлялось свечение; в то же время в направлении от острия конуса исходил постоянный ветер, сила которого была такова, что деформировала поверхность неизолированной воды, находившейся против этого конца.

При более быстром вращении машины часть воды разбрасывалась; оставшаяся меньшая заостренная часть обнаруживала негладкую поверхность, и был слышен звук следовавших друг за другом кистевых разрядов. При еще большем количестве электричества разбрасывалось еще больше воды; оставшаяся вода попеременным движением то вытягивалась, то стягивалась; был слышен более сильный кистевой разряд; колебания воды и последовательные разряды отдельных кистей совершались одновременно. Когда теперь к капле снизу подносилась вода, то по виду капли не усматривалось такого же правильного сильного сжатого потока воздуха, как раньше; когда же расстояние было таково, что проскакивали искры, то вода внизу скорее *притягивалась*, чем отступала, а поток воздуха *прекращался*.

1585. Если приблизить разрядный шарик к капле в ее первоначальном спокойном светящемся состоянии (1582), свечение немедленно переходит в кистевые разряды, и возникает колебательное движение капли. При дальнейшем приближении проскакивали искры, и притом всегда в направлении от металла

стержня по поверхности воды к острию и отсюда через воздух к шарiku. Это является естественным следствием недостаточной проводимости жидкости (1584, 1585).

1586. Почему капля колебалась, меняя свою форму в промежутки между кистевыми разрядами и в разные моменты становилась более или менее заостренной, наиболее же заостренной в момент образования кисти, и каким образом спокойная, светящаяся жидкая капля, принимая коническую форму, как бы способствовала началу действия, — все это вопросы, теоретически настолько ясные, что я не буду на них останавливаться. В настоящий момент главное внимание следует обратить на образование переносящего [заряды] потока воздуха и на то, каким образом поток обнаруживает свое существование и влияние, придавая каплям их форму.

1587. Капля воды или еще лучшего проводника принимает форму конуса главным образом под влиянием потока воздуха; это можно показать, кроме всяких других (1594), еще следующим способом. Когда против конической капли ставился какой-либо острый конец, капля быстро утрачивала свою заостренную форму, втягивалась и округлялась; поток воздуха от капли прекращался и сменялся потоком от нижнего острия, и если последнее находилось достаточно близко к капле, потоком сдувало ее в сторону; при этом капля принимала вогнутую форму.

1588. Едва ли есть необходимость упоминать, как обстояло дело, когда вещество капли проводило еще хуже воды, как, например, масло или скипидар. В этих случаях самая жидкость разбивалась на нити и увлекалась не только потому, что ее удалению помогал пронесившийся над ее поверхностью воздух, но также вследствие того, что изолирующие частицы жидкости приходили в такое же заряженное состояние, как частицы воздуха; не будучи в состоянии произвести по направлению к последним разряд в значительно более сильной степени, чем могли бы разрядяться сами частицы воздуха, они уносились теми же силами, которые приводили в движение частицы воздуха. Подобное же

явление с расплавленным сургучем на металлическом острие является старым и общеизвестным опытом.

1589. На форму капли из разведенного гуммиарабика под колоколом воздушного насоса электризация заметно не влияла. Если впускать воздух, капля начинает обнаруживать изменение формы при давлении в десять дюймов ртутного столба. При давлении в четырнадцать — пятнадцать дюймов изменение было более заметно; по мере возрастания плотности воздуха эти действия усиливались, и, в конце концов, они не отличались от действий в атмосфере. Ослабление действий в разреженном воздухе я приписываю уменьшению энергии его потока; это уменьшение обусловлено прежде всего более слабым электрическим состоянием наэлектризованного шара в разреженной среде, а затем — ослабленным состоянием диэлектрика; сила сцепления воды по отношению к разреженному воздуху примерно такова, как сила сцепления ртути по отношению к плотному воздуху (1581), тогда как сцепление воды в плотном воздухе сравнимо с силой сцепления ртути в скипидаре (1597).

1590. Когда шар покрыт вязкой проводящей жидкостью, как, например, патокой или сиропом, то с помощью индуктивного действия легко образовать [электрический] ветер почти из каждой его точки (1577); опыт, производство которого раньше несколько затруднялось, теперь легко удастся, так как жидкость позволяет тому месту, которое раньше было слабо по своему действию, достигнуть высокого состояния, чему способствует принятие жидкостью заостренной формы.

1591. Чтобы образовался поток, электрическое напряжение должно возрасти и длительно поддерживаться в *одном месте*, именно там, где поток возникает сначала, на более высоком уровне, чем в других местах, и тогда при однородном и свободном доступе воздуха получается поток. Если не допускать образования потока (1574), разряд может происходить в виде кистевого или искрового. Но независимо от того, в каком виде он происходит: в виде кисти или искры, или [электрического] ветра, представляется весьма вероятным, что та начальная интенсив-

ность или напряжение, при котором частица данного газообразного диэлектрика заряжается или начинает разряд, при указанных выше условиях всегда одинаково (1410).

1592. Я вовсе не думаю, чтобы приходящий в движение воздух был наэлектризован весь целиком; наоборот, в поток вовлекается большое количество незаряженного воздуха. Возможно, что фактически заряженная часть составляет только небольшую долю того воздуха, который в итоге приводится в движение (1442).

1593. Когда капля разведенного гуммиарабика (1584) заряжена *отрицательно*, она образует конус большей величины, чем при положительном заряде; разбрасывается меньше жидкости, и, тем не менее, с трудом удается извлечь искру приближением шарика, — настолько заострен конус, и с такой легкостью идет разряд. Когда против такой капли помещалось острие, то вызываемое им сокращение конуса было не столь значительно, как при положительном заряде. Все эти явления резко отличаются от тех, которые происходят при положительном конусе, и я не сомневаюсь в том, что такие капли представляют весьма поучительный метод исследования различия между положительным и отрицательным разрядами в воздухе и в других диэлектриках (1480, 1501).

1594. Чтобы не быть понятым превратно (1587), должен заметить, что образование конусов я не приписываю *одному только* потоку воздуха или другого изолирующего диэлектрика у их поверхности. Когда капля состоит из плохо проводящего вещества, явление в некоторой части обусловлено наэлектризованным состоянием частиц; к этой части сводится почти все явление, когда вещество представляет собой расплавленный сургуч, скипидар и подобные им изолирующие тела (1586). Но даже тогда, когда капля состоит из хорошо проводящего вещества, как вода, растворы или ртуть — правда, в этом случае вышеупомянутое явление мало заметно (1607), — даже тогда не все изменение формы вызывается одним только потоком воздуха или другого диэлектрика; отчасти явление обуславливается теми силами притяжения, под влиянием которых заряженная капля, если бы

она обладала свободой движения, перемещалась вдоль линии наибольшей индукции; когда же свободы перемещения нет, форма капли удлиняется до тех пор, пока сумма различных сил, стремящихся придать ей эту форму, не уравновесится силами сцепления жидкости. Действие сил притяжения хорошо демонстрируется, если взять патоку, разведенный гуммиарабик или сироп, ибо образующиеся в этом случае длинные нити, являющиеся осью потоков воздуха (такие потоки, следует думать, возникают в то же время у их концов), можно уподобить гибким проводникам; их направление указывает, по какому пути их увлекают силы притяжения.

1595. В плотных изолирующих диэлектриках явление потоков обнаруживает механические силы в чрезвычайной степени. Так, если поместить в стеклянный сосуд пинту хорошо очищенного и профильтрованного (1571) скипидара и в двух разных местах погрузить в него два провода — один, ведущий к электрической машине, а другой — к разрядному проводу, — то при вращении машины жидкость по всей своей массе приходит в бурное движение и поднимается в то же время на два, три или четыре дюйма вверх по проводу машины; при этом струйки жидкости отрываются от провода в воздух.

1596. Если на дне жидкости имеется очень чистая неизолированная ртуть, а провод от машины заканчивается шариком или же острием и проходит в то же время через стеклянную трубку, которая простирается и выше и ниже поверхности скипидара, то эти потоки наблюдаются лучше, и можно видеть, как они устремляются вниз по проводу, направляясь прямо от него к ртути, а здесь расходятся во все стороны, чем вызывают сильную рябь на поверхности ртути, и, поднимаясь у стенок сосуда, возвращаются, чтобы снова проделать прежний путь.

1597. Висящая на амальгамированном латунном стержне капля ртути в воздухе сохраняла свою форму почти неизменной (1581); но при погружении в скипидар она сильно заострялась, и случалось даже, что частицы металла отрывались и увлекались потоками диэлектрика. Форма жидкого металла в точности

напоминала форму капли сиропа в воздухе (1584), причем вершина конуса была такая же острая, хотя и не такая длинная. Подноси к капле неизолированное острие, удавалось получить с ней такие же явления, как с каплей сиропа в воздухе (1587), хотя не с такой же легкостью, вследствие плотности и ограниченного количества диэлектрика.

1598. Если ртуть на дне жидкости соединить с электрической машиной, а в руке держать стержень, оканчивающийся шариком примерно в три четверти дюйма диаметром, и шарик погрузить в наэлектризованную жидкость, то последуют весьма поразительные явления. Если шарик поднять назад так, чтобы

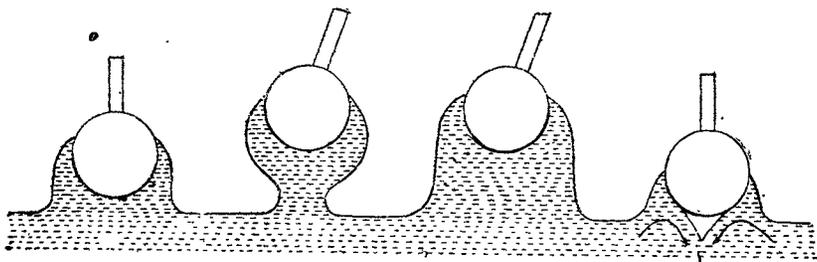


Рис. 143.

Рис. 144.

Рис. 145.

Рис. 146.

он оказался у поверхности, почти над уровнем жидкости, то картина такова, как будто к шару пристало большое количество жидкости (рис. 143). Если шарик приподнять выше, то он попрежнему окажется соединенным жидким столбиком с скипидаром в сосуде внизу (рис. 144). Если заставить машину действовать сильнее, то столбик становится толще, а затем может быть поднят и выше, приобретая форму, изображенную на рис. 145; все время, пока длятся эти явления, в поднятом столбике жидкости можно наблюдать прямые и обратные потоки, проходящие иногда очень близко друг к другу.

1599. В опытах, подобных этим, очень трудно на-глаз определить направление потоков. Если вводить обрывки шелка, то они пристаю к проводникам, но при пользовании капельками воды

или ртути можно, повидимому, хорошо проследить путь жидкого диэлектрика. Так, если на конце стержня над неизолированной ртутью поместить каплю воды (1571), то она вскоре уносится в виде частиц, устремляющихся вниз к ртути. Если на ртуть под концом стержня поместить вторую каплю, то она быстро разбрасывается во всех направлениях в форме струек; при этом силами притяжения она растягивается на удлиненные площадки, а потоки их уносят прочь. Если с шарика, который служил для поднятия столбика жидкости (1598), свешивается капля ртути, то форма капли, повидимому, указывает на потоки, проходящие в жидкости в направлении, показанном стрелками (рис. 146).

1600. Весьма замечательное действие на эти явления связано с положительным и отрицательным зарядом и разрядом; а именно, шар, заряженный положительно, поднимает значительно более высокий и толстый столбик скипидара, чем при отрицательном заряде. Не может быть сомнения, что это явление связано с упомянутым выше (1480, 1525) различием положительного и отрицательного действий, и в значительной мере подкрепляет представление, что такое различие следует отнести скорее за счет частиц диэлектрика, чем за счет заряженных проводников, и что оно обусловлено тем, каким образом поляризуются частицы (1503, 1523).

1601. Всякий раз, когда в изолирующих диэлектриках проходят потоки вещества, они по-настоящему производят разряд; и важно заметить, хотя это само собой понятно, что безразлично, в каком направлении перемещается поток или частицы, поскольку при перемене направления их состояние меняется на противоположное. Это изменение легко произвести как в воздухе, так и в скипидаре между двумя поставленными друг против друга стержнями, ибо приближением изолированного шарика к концу одного из стержней можно направить к нему поток с противоположного конца.

1602. Часто оба потока возникают одновременно, например, когда оба конца дают кистевые разряды, а часто и тогда, когда

наблюдается свечение (1531). В таких случаях заряженные частицы — по крайней мере многие из них — встречаются и разряжаются друг друга (1548, 1612). Если около конца изолированного стержня в направлении к заряженному главному кондуктору держать дымящуюся восковую свечу, то очень часто образуются два потока, которые делаются видимыми благодаря дыму свечи: один поток тянется в виде тонкой нити частиц дыма прямо к заряженному кондуктору, а другой так же прямо от того же фитиля свечи в сторону и от кондуктора; и здесь играют роль принципы индуцирующего действия и заряда, о которых говорилось при рассмотрении связи между шариком-переносчиком и проводником (1566).

1603. Общее сходство и, можно, я думаю, сказать, тождество действия в отношении изоляции и проводимости (1338, 1561), существование которого было обнаружено при сравнении тел, являющихся лучшими и худшими представителями класса изоляторов и проводников, привело меня к убеждению, что явления *конвекции*, имеющие место в плохо проводящих веществах, имеют себе подобие и у лучших проводников, даже таких, как металлы. При ближайшем рассмотрении конусы, полученные Дэви¹ в жидких металлах, как ртуть и олово, повидимому, представляли такие случаи, а возможно, что также и описанное Ампером (1113)² удлинение металлической среды, через которую проходит ток электричества; в самом деле, нетрудно представить себе, что уменьшение конвекционного действия вследствие высокой проводимости имевшейся в этих опытах металлической среды могло быть полностью компенсировано огромным количеством проходящего электричества. Действительно, совершенно необходимо ожидать *некоторого*, может быть заметного, а может быть незаметного, действия рассматриваемого рода, когда такой ток проходит через жидкость, представляющую заметное сопротивление

¹ Philosophical Transactions, 1823, стр. 155.

² Bibliothèque Universelle, XXI, стр. 47.

прохождению электричества, чем она свидетельствует о наличии некоторой доли изолирующей способности (1328).

1604. Я имел в виду связать конвекционные потоки в воздухе, скипидаре и т. п. с током в металлах с помощью промежуточных случаев, но нашел, что сделать это не легко. Если, например, взять вещества, которые, подобно воде, кислотам, растворам, плавленным солям или хлоридам обладают промежуточными проводимостями, то незначительное количество электричества, которое в состоянии давать обыкновенная [электрическая] машина (371, 861), расходуется мгновенно, так что причина явления лежит либо в очень низком напряжении, либо в том, что промежуток времени, в течение которого происходит действие, настолько ничтожен, что нет надежды наблюдать искомый результат. Если воспользоваться для опыта гальванической батареей, то поскольку все эти вещества являются электролитами, выделение газа и другие получаемые при этом изменения мешают образованию требуемых явлений и не дают возможности их наблюдать.

1605. Тем не менее, имеется несколько опытов, которые обнаруживают эту связь. Две платиновые проволоки, образовавшие электроды мощной гальванической батареи, были расположены рядом, близко друг к другу, в герметически закрытой толстой стеклянной трубке, в дистиллированной воде, в которой имелось несколько мелких растительных волокон. Когда вследствие выделения газа и проистекающего отсюда повышения давления образовавшиеся на электродах пузырьки были настолько малы, что производили лишь слабо восходящие потоки, можно было наблюдать, как имеющиеся нити притягивались и отгалкивались в пространстве между двумя проводами, как будто бы они находились между двумя противоположно заряженными поверхностями в воздухе или скипидаре; они двигались настолько быстро, что смещали и разрушали пузырьки и потоки, образуемые пузырьками. Теперь, я полагаю, не может быть сомнений в том, что при подобных же условиях, но при обильном притоке электричества и достаточно высоком напря-

жении могут образоваться конвекционные токи; действительно, притяжение и отталкивание нитей представляли собой элементы таких потоков (1572), а, следовательно, вода, хотя она как проводник почти беспредельно превосходит воздух или скипидар, является средой, в которой такие потоки могут иметь место.

1606. Я изготовил прибор (рис. 147), в котором *a* представляет собой шеллаковую пластину, *b* — проходящую через нее тонкую платиновую проволочку; наружу проволока выступает только своим сечением; *c* — колечко промокательной бумаги, лежащее на шеллаке; *d* — дистиллированная вода, удерживаемая бумагой на месте в количестве, как раз достаточном для того, чтобы покрыть конец проволочки *b*. Вторая проволочка *e* касалась кусочка станиоля, находящегося в воде, а также была соединена с разрядным проводом; таким путем, заряжая проволочку *b* либо положительно, либо отрицательно, легко было от конца ее пропускать ток электричества в жидкость, а также и уводить его через проволочку *e*.

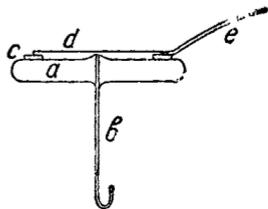


Рис. 147.

1607. При соединении *b* с кондуктором мощной электрической машины во время работы последней не удавалось заметить ни малейшего нарушения уровня жидкости над концом проволоки; но в то же самое время разряд был настолько полон, что не наблюдалось ни малейших признаков электрического заряда вокруг кондуктора или машины. Отсюда я делаю заключение, что количество электричества, проходившее за *данный промежуток времени*, было слишком мало по сравнению с проводимостью жидкости, чтобы произвести желаемое действие.

1608. Затем я заряжал большую лейденскую батарею (291) и разряжал ее через проволочку *b*, включая, однако, в цепь влажный шнур в два фута длиной, чтобы предупредить образование искры в воде и превратить разряд, который иначе был бы внезапным и сильным, в разряд более умеренного характера,

продолжающийся в течение заметного промежутка времени (334). Теперь я получил над концом проволоочки очень незначительный подъем воды; правда, в то же время в этом месте образовалось небольшое количество мелких пузырьков газа, вследствие чего я не мог утверждать с уверенностью, что это явление было то самое, что и явление, полученное Дэви в металлах; тем не менее, поскольку я могу судить, оно имело отчасти и, я полагаю, в главной своей части именно этот характер.

1609. Для опытов подобного же рода с электролитами я пользовался гальванической батареей, состоящей из 100 пар четырехдюймовых пластин. В этих случаях шеллак имел форму чашечки, а проволочка *b* имела 0,2 дюйма в диаметре. Иногда я пользовался положительно заряженным амальгамированным цинком в соприкосновении с разбавленной серной кислотой; в других случаях — отрицательно заряженным медным проводом в растворе сульфата меди; однако вследствие выделения газа, осаждения меди и т. д. мне не удавалось получить определенных результатов. Следует заметить, что когда я, желая повторить опыты Дэви, брал ртуть, то батарея из 100 пар пластин оказывалась недостаточной для того, чтобы произвести подъем жидкости.¹

1610. Таким образом можно считать, что последними опытами (1609) не удалось дать ожидаемое доказательство, но я питаю сильное доверие к предыдущим (1605, 1608) и к связанным с ними соображениям (1603). Если я их правильно понял, и если позволительно сравнивать потоки около острий и поверхностей в таких крайне различных телах, как воздух и металлы, и допустить, что они представляют собой явления *одного и того же рода*, отличающиеся лишь количественно в отношении изолирующей способности или проводимости служащего для опыта

¹ Кажется, что для опытов в Королевском институте сэра Г. Дэви брал 500 или 600 пар пластин. Опыты в Лондонском институте производились с установкой г. Пиписа (Pepys), представляющей собой одну пару пластин огромных размеров; эта установка описана в *Philosophical Transactions*, 1823, стр. 187.

диэлектрика, то какой же веский довод мы получаем опять в пользу теории, которая и с точки зрения явлений изоляции и проводимости, и с точки зрения этих явлений связывает воедино такие видимо несходные вещества (1336, 1561)! И с какой, повидимому, полнотой то общее представление, которое приписывает все эти явления непосредственному действию молекул вещества, охватывает разнообразные разобщенные явления по мере того, как они одно за другим подвергаются исследованию!

1611. Связь этого явления конвекции, или переноса, которое обусловлено некоторой степенью изолирующего действия, с проводимостью, т. е. существование одновременно обоих в столь многочисленных веществах, как, например, упомянутые выше металлы, вода, воздух и т. п., привела бы ко многим весьма любопытным теоретическим обобщениям, от которых я должен здесь воздержаться. Но об одном положении я все же позволю себе упомянуть. По существу проводимость представляется действием смежных частиц, и только что изложенные соображения, наряду с другими, формулированными ранее (1326, 1336 и т. д.), приводят к заключению, что все тела — воздух в той же мере как металлы, — проводят электричество путем одного и того же процесса; единственное различие заключается в той необходимой степени силы или напряжения между частицами, которая должна существовать для того, чтобы наступил процесс проводимости или переноса от частицы к частице.

1612. Но тогда возникает вопрос: в чем же заключается то ограничительное условие, которое как бы отделяет друг от друга проводимость и изолирующее действие? Может быть, оно состоит в различии между двумя смежными частицами или смежными полюсами этих частиц, или в природе и величине положительной и отрицательной сил, так что передача или разряд не возникает, пока это различие не возрастет до определенной степени, различной для различных тел, но всегда одинаковой для одного и того же вещества? Или же справедливо, что, как бы ни была мала

разница между двумя такими частицами, по истечении достаточного времени силы уравниваются даже при частицах таких веществ, как воздух, сера или шеллак? В первом случае изолирующая способность каждого данного тела была бы пропорциональна степени необходимой разности сил, которую мы должны здесь принять; во втором — *времени*, необходимому для того, чтобы уравновесить равные степени этого различия в разных телах. Что касается газообразных тел, то, пожалуй, можно бы ожидать постоянного различия в силе; но во всех других веществах времени, повидимому, вполне достаточно, чтобы в конце концов обеспечить полную проводимость. Различие в способах, которыми может поддерживаться изолирующее действие или осуществляться проводимость, не является просто воображаемым, а представляет собой очень важный пункт, так как оно существенно связано с молекулярной теорией индукции и с тем способом, которым частицы вещества приходят в поляризованное состояние и его удерживают.

ГЛАВА XI

Отношение пустоты к электрическим явлениям

1613. Было бы странно, если бы в теории, приписывающей все влияния изоляции и проводимости, т. е. все электрические явления, действию смежных частиц, не упоминалось о теоретически возможном случае *пустоты*. Допуская, что пустоту создать можно, было бы в самом деле весьма любопытно узнать, каково было бы ее отношение к электрическим явлениям, а поскольку шеллак и металл друг другу прямо противоположны, то не является ли пустота противоположной им обоим, не допуская через себя ни индукции, ни проводимости? Г-н Морган (Morgan)¹ говорил, что пустота не проводит. Сэр Г. Дэви вывел из своих исследований заключение, что пустота, настолько совершенная, какая только может быть получена,²

¹ Philosophical Transactions, 1785, стр. 272.

² Philosophical Transactions, 1822, стр. 64.

проводит [электричество], но он не думает, чтобы пустота, которую он получал, являлась абсолютной. Мне кажется, что в таких опытах я наблюдал светящийся разряд преимущественно на внутренней поверхности стекла; повидимому, вполне возможно, что если пустота не проводит, то все же действие это может поддерживать смежная с ней поверхность стекла.

1614. Одно время, когда я думал, что индуктивная сила действует по прямым линиям, я надеялся выяснить этот важный вопрос, производя опыты над индукцией с металлическими зеркалами (я пользовался ими только как проводящими сосудами), направленными на очень ясное ночное небо; их вогнутость была такова, что из самого низа вогнутой части n (рис. 148) не было видно ничего, кроме неба. Когда такие зеркала заряжались, например, путем соединения с лейденской банкой, и исследовались с помощью шарика-переносчика, то в комнате они легко отдавали электричество из самой глубокой части вогнутости; но я рассчитывал обнаружить, что при указанных выше условиях они дадут небольшое количество электричества или совсем не дадут его в том же месте, если бы атмосфера сверху действительно переходила в пустоту. Это мое заключение не оправдалось, ибо я получал там столько же электричества, как и раньше; но когда я открыл, что индукция действует по кривым линиям (1231), то нашел полное и удовлетворительное объяснение этого опыта.

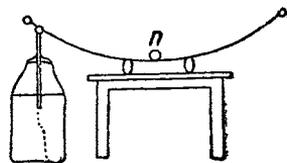


Рис. 148.

1615. Моя теория, поскольку я рискую ее высказать, не претендует на то, чтобы решить, что вытекает из факта пустоты. В настоящее время она еще недостаточно оформлена; не проделано прямых опытов относительно пространства, лишённого вещества, ни каких-либо других опытов, и потому теория не доведена до той степени точности, при которой бы она могла указать, что происходило бы в случае пустоты. До сих пор я лишь пытался установить то, что, повидимому, подтверждается всеми

фактами, а именно: когда происходят электрические явления, как явления индукции, проводимости, изоляции и разряда, то они обуславливаются и вызываются действием *смежных* частиц вещества, причем как смежная рассматривается частица, расположенная ближе всех других; далее я допускал, что эти частицы поляризованы, что каждая из них обнаруживает обе силы, или что сила в них направлена в обе стороны (1295, 1298), и что они действуют на расстоянии только так, что действуют на *смежные* и промежуточные частицы.

1616. Однако, если допустить, что на пути линий индуктивного действия (1304) появится совершенная пустота, то из моей теории отнюдь не следует, чтобы частицы по обе стороны от такой пустоты не могли действовать друг на друга. Положим, что положительно наэлектризованная частица может находиться в центре пустого пространства диаметром в один дюйм; тогда при настоящих моих взглядах ничто не противоречит тому, что эта частица в пределах половины дюйма будет действовать на все частицы, образующие внутреннюю поверхность ограничивающей сферы, и притом с силой, соответствующей общеизвестному закону квадратов расстояний. Но если предположить, что эта сфера в один дюйм заполнена изолирующим веществом, тогда, согласно моему представлению, наэлектризованная частица не действовала бы непосредственно на частицы, находящиеся на расстоянии от нее, но действовала бы на те, которые находятся непосредственно рядом, используя *всю* свою силу на их поляризацию и создавая в них отрицательную силу, равную по величине своей собственной положительной силе и к ней направленную; а с другой стороны — положительную силу равной величины, направленную наружу и действующую таким же образом на следующий ближайший слой частиц. Так что, в итоге, те частицы на поверхности сферы, радиусом в полдюйма, которые подвергались *непосредственному* действию, когда эта сфера представляла собой пустоту, будут теперь подвергаться *косвенному* действию центральной частицы или источника действия, т. е. они будут поляризованы так же и тем же количеством силы.

РАЗДЕЛ 19

Природа электрического тока

1617. Слово *ток* в обычной речи является настолько выразительным, что, пользуясь им при рассмотрении электрических явлений, мы с трудом можем в достаточной мере отрешиться от этого смысла и избежать связанного с ним предвзятого суждения (283, 511). Я буду применять этот термин в его обычном электрическом смысле, а именно как общее выражение некоторого состояния и соотношения электрических сил, которые предполагаются находящимися в поступательном движении.

1618. Ток создается путем одновременно возбуждения и разряда, и какие бы изменения ни претерпевали эти две основные причины, явление остается одинаковым. Так, возбуждение может происходить различными путями, например, посредством трения, химического действия, влияния тепла, изменения состояния, индукции и т. п., а разряд встречается в виде проводимости, электролиза, разрывного разряда и конвекции; тем не менее, связанный с этими действиями ток, если он возникает, повидимому, во всех случаях одинаков. Это постоянство свойств тока, независимо от тех частных и значительных видоизменений, в которых он наблюдается, весьма замечательно и важно, и его исследование и выяснение обещает дать наиболее прямой и удобный путь к истинному и глубокому пониманию природы электрических сил.

1619. До сих пор я не нашел в явлениях тока ничего противоречащего принятому мною взгляду на природу индукции как на действие смежных частиц. Я старался не поддаваться предубеждениям и искать противоречий, но не обнаружил их ни в разряде путем проводимости, ни в электролитическом, ни в конвекционном, ни в разрывном разряде.

1620. Если рассматривать ток как *причину*, он обнаруживает весьма замечательные и разнообразные действия не только непо-

средственно на своем пути и на вещества, в которых он имеет место, но и в сторону, как в индуктивных и магнитных явлениях.

1621. Электролитическое действие. Одно из непосредственных действий тока состоит в проявлении чисто химической силы, которая в данный момент уже изучена очень обстоятельно. Оказалось, что действие это отличается *постоянством* и *определенностью* для данного количества разрядившейся электрической силы (783 и т. д.) и, далее, что требуемое напряжение связано с интенсивностью химического сродства или подлежащих преодолению сил (904, 906, 911). Здесь ток и его следствия оказываются друг другу пропорциональными; одним можно воспользоваться для определения другого; ни малейшей части действия того или другого не теряется и не приобретает, так что этот случай отличается полной точностью, и именно он наиболее отчетливо поясняет учение о том, что индукция представляет собой действие смежных частиц (1164, 1343).

1622. Процесс электролитического разряда представляется мне чрезвычайно сходным, а может быть, и тождественным по своей природе с другим процессом разряда, который на первый взгляд кажется весьма от него отличным, а именно с *конвекцией* (1347, 1572). В последнем случае частицы могут перемещаться по комнате на протяжении нескольких ярдов; они могут производить в воздухе сильный электрический ветер, способный привести в движение механические приспособления, а в жидкостях, например в скипидаре, могут даже трясти руку и уносить тяжелые металлические тела.¹ И тем не менее я не вижу, чтобы эта сила отличалась чем-либо — характером или действием — от той, под действием которой частица водорода покидает одну частицу кислорода, чтобы идти к другой, или в результате которой

¹ Если изолировать и наэлектризовать металлический сосуд высотой в три или четыре дюйма, содержащий скипидар, и погрузить в жидкость шарик (диаметром в один дюйм или более), укрепленный на одном конце стержня, а другой конец держать в руке, то экспериментатор без труда убедится в существовании механической силы, возникающей при перемещении шарика к стенкам сосуда и обратно,

частица кислорода перемещается в противоположном направлении.

1623. Движущиеся частицы воздуха могут вызывать химические изменения точно так же, как и соприкосновение с неподвижным платиновым электродом или со вступающим в соединение электродом или с ионами разлагающегося электролита (453, 471); и мне кажется, что в описанном ранее опыте, в котором один и тот же ток приводит в действие восемь мест разложения (469), и где единственным электрическим средством соединения этих участков тока служили движущиеся заряженные частицы воздуха, действие частиц электролита и воздуха было по существу одно и то же. Частица воздуха заряжалась положительно; она перемещалась в некотором определенном направлении и при встрече с электролитом сообщала ему свои силы; соответственно другая частица (водород) приобретала равное количество положительной силы и с этим зарядом перемещалась, как и первая, и в том же самом направлении до тех пор, пока не встречала другой частицы, которой передавала свою силу и движение, превращая эту частицу в действующую. Поэтому, хотя частица воздуха перемещается на измеримое, а иногда и очень большое расстояние, частица же электролита — на чрезвычайно малое; хотя частица воздуха может представлять собой кислород, азот или водород и берет свой заряд от силы высокого напряжения, в то время как электролитическая частица водорода в электролите обладает естественной склонностью с чрезвычайной легкостью приходить в положительное состояние; хотя частица воздуха заряжена весьма незначительным количеством электричества при очень высоком напряжении, в результате какого-то одного процесса, а частица водорода заряжена большим количеством электричества при очень низком напряжении в результате другого процесса, но в отношении окончательного разрядного действия частиц эти различия являются лишь количественными, а не качественными; это не те различия по существу, которые делают явления несходными, но такие различия, которые придают одинаковым по своей при-

роде вещам то большое разнообразие, которое дает им возможность выполнять свое назначение в системе вселенной.

1624. Таким образом, когда наэлектризовавшаяся у отрицательного острия частица воздуха или содержащейся в нем пыли движется под влиянием индуктивных сил (1572) к ближайшей положительной поверхности и, разрядившись, удаляется от нее, мне представляется, что она в точности соответствует той частице кислорода, которая, зарядившись в электролите отрицательно, попадает под действие такого же расположения индуктивных сил, подойдя к положительному платиновому электроду, разряжается около него и затем удаляется, как это делала перед ней частица воздуха или пыли.

1625. Другим непосредственным действием *тока* на вещества, в которых он имеет место, является *нагревание*; с точки зрения соотношений электрических и тепловых сил представляется весьма важным знать, является ли последнее всегда определенным по величине.¹ Даже среди тел, проводящих ток без изменения, имеется множество таких, которые в настоящее время несовместимы с указанным предположением,² но имеется также множество таких, которые указывают, что, при надлежащих оговорках, создаваемое тепло является определенным. Гаррис показал это для тока данной длины в металлическом проводе, делая опыты с обыкновенным электричеством,³ а де ля Рив доказал то же положение для случая гальванического электричества, остроумно применив для этого термометр Бреге (Breguet).⁴

1626. Когда образование тепла наблюдается в разлагающихся электролитах, то результаты получаются еще более слож-

¹ См. исследования де ля Рива, Bibliothèque Universelle, 1829, LX, стр. 40.

² Среди других: Дэви, Philosophical Transactions, 1821, стр. 438; важные выводы Пельтье (Pelletier:), Annales de Chimie, 1834, LVI, стр. 371; и не нагревающий ток Беккереля, Bibliothèque Universelle, 1835, LX, стр. 218.

³ Philosophical Transactions, 1824, стр. 225, 228.

⁴ Annales de Chimie, 1836, LXII, стр. 177.

ными. Но в исследовании этой стороны вопроса важные шаги сделаны де ля Ривом ¹ и др., и более чем вероятно, что при правильных ограничениях здесь будут получены также постоянные и определенные результаты.

1627. Одним из важнейших свойств тока, и притом существенно связанным с самой его природой, является то, что он всегда одинаков. Повсюду в нем имеются обе силы. Никогда не бывает одного тока силы или одной жидкости. В смысле присутствия в них обеих сил все участки тока можно считать совершенно одинаковыми, и многочисленные опыты, исходящие из возможности их разделения, так же как и вошедшие в обиход теоретические выражения, которые это предполагают, находятся, как я полагаю, в противоречии с фактами (511 и т. д.). Мне кажется, что предположить существование тока одной положительной или одной отрицательной силы или тока обеих с преобладанием одной над другой так же невозможно, как сообщить материи абсолютный заряд (516, 1169, 1177).

1628. Установить эту истину, если, как я полагаю, она таковой является, или же, наоборот, опровергнуть ее — дело чрезвычайной важности. Если бы для начала удалось установить, что центры обеих сил или элементов силы ни коим образом не могут быть отделены на ощутимое расстояние и, во всяком случае, не дальше, чем на расстояние между двумя смежными частицами (1615), или если бы удалось доказать противное, то насколько яснее стал бы наш взгляд на все лежащее перед нами и насколько облегчился бы путь, по которому мы должны идти для ее разрешения, по сравнению с тем, что будет, если мы будем оставаться в неопределенном положении между двумя мнениями! И если, зная это, мы станем строго проверять каждый относящийся к данному вопросу опыт, поскольку нам это позволит

¹ Bibliothèque Universelle, 1829, XL, стр. 49 и Ритчи, Philosophical Transactions, 1832, стр. 296.

наши предвзятые мнения (1161), и не будем слишком легко проходить мимо, отделяваясь теоретическими терминами, то не скорее ли мы в таком случае добьемся настоящей истины, чтобы отсюда с уверенностью проследовать к тому, что в настоящее время неизвестно?

1629. Я говорю это, надеюсь, не для того, чтобы высказать частное мнение, а чтобы обратить внимание тех, кто в состоянии исследовать этот вопрос и судить о нем, на то, что должно быть поворотным пунктом в учении об электричестве, на разветвление пути на два, из которых правильным может быть только один; я надеюсь, что мне будет разрешено углубиться несколько больше в те факты, которые привели меня к изложенному сейчас взгляду.

1630. Когда провод гальванической цепи нагревается, то нередко на одном из концов температура возрастает раньше или особенно сильно. Если бы это явление было связано каким-либо образом с положительным или отрицательным направлениями тока, то оно являлось бы чрезвычайно важным. Я поэтому исследовал несколько таких случаев; однако, когда я менял направление тока, сохраняя контакты провода и его положение в отношении соседних предметов, то я нашел, что явление оставалось неизменным, что указывает на его зависимость не от направления тока, а от других условий. Таким образом, здесь нет указаний на различие между отдельными частями цепи.

1631. То же положение, т. е. однородность во всех местах тока, может быть иллюстрировано его, можно сказать, неистощимостью при произведении им некоторых отдельных действий, ибо эти действия обусловлены только переносом электричества и не расходуют силы. Так, например, ток, нагревающий один дюйм платиновой проволоки, нагревает и сто дюймов ее (853, примечание). Если поддерживать ток в неизменном состоянии, то он будет разлагать жидкость как в одном вольтамetre, так и еще в двенадцати других, если они включены в цепь, и в каждом из них в таком же количестве, как в первоначальном.

1632. Далее, в случае разрывного разряда, как, например, в искре, часто наблюдается темный участок (1422), который был

назван проф. Джонсоном нейтральной точкой,¹ что привело к введению в пользование выражений, предполагающих, что там имеется два рода электричества, существующих раздельно, и что они, подходя к этому месту, здесь соединяются и друг друга нейтрализуют.² Но если понимать эти выражения так, что между положительным шариком и этим местом действительно движется одно положительное электричество, а отрицательное — только между отрицательным шариком и этим местом, то в каких странных условиях должны находиться эти участки, — в условиях, которые, по моему мнению, во всех отношениях резко отличаются от имеющих место в действительности! В таком случае одна часть тока состояла бы только из положительного электричества, притом движущегося в одном направлении, другая — из одного отрицательного электричества, движущегося в обратном направлении, а третья часть представляла бы собой скопление обоих электричеств, не движущихся ни в том ни в другом направлении, а смешивающихся между собой и находящихся друг с другом в отношении, совершенно не похожем ни на какое отношение, которое можно было бы предположить существующим в двух первых участках разряда. Это представляется мне неестественным. Какую бы форму разряда ток ни принял, какую бы часть цепи или тока мы ни имели в виду, сколько положительной силы действует в ней в одном направлении, столько же отрицательной силы действует в ней в другом. Если бы это было не так, то мы должны были бы иметь тела, наэлектризованные не просто положительно и отрицательно, но, подчас, весьма необыкновенным образом, и одно тело по сравнению с другим было бы заряжено пяти-, десяти- или двадцатикратным количеством одинаково как положительного, так и отрицательного электричества. В настоящее время, однако, не известно ни одного факта, указывающего на такое состояние.

1635. Утверждение, что ток везде одинаков, должно быть в самом деле справедливо (1627) даже в случаях конвекции или

¹ Silliman's Journal, 1834, XXV, стр. 57.

² Thomson, On Heat and Electricity, стр. 471.

переносного разряда, ибо в противном случае как могли бы иметь место описанные выше результаты? Когда разряд между кусками бумаги, смоченной иодидом калия или сульфатом натра (465, 469), производился потоками воздуха, то происходило разложение; с тех пор я удостоверился, что выделение иода или кислоты оставалось одинаковым, независимо от того, исходил ли от пятна поток положительного воздуха или к нему был направлен поток отрицательно заряженного воздуха, обратные же токи выделяли щелочь. Таким же образом в магнитных опытах (307), независимо от того, как осуществлялся разряд: введением провода или проскакиванием искры или прохождением конвекционных токов в том или ином направлении (в зависимости от электризации частиц), результат получался одинаковый и во всех случаях указывал на действие полного тока.

1634. Следовательно, каждое из сечений тока, если сравнить его с другими сечениями того же самого тока, должно представлять собой постоянное количество, когда проявляемые действия одинаковы, а если они разного рода, то формы, в которых выражаются эти действия, эквивалентны друг другу, и их можно по желанию экспериментально преобразовать одно в другое. Таким образом тождество электрической силы мы должны искать в сечениях, даже в сечениях через искру и токи переноса, а не только в сечениях через провода и электролиты.

1635. Чтобы показать, сколь полезно и важно установить то, что может оказаться истинным принципом, я приведу кое-какие примеры. Учение об униполярности, как оно ранее излагалось и, я полагаю, всеми понималось,¹ очевидно, несовместимо с моим взглядом на ток (1627), а более поздние своеобразные явления полюсов и пламени, описанные Эрманом (Erman) и др.,² обнаруживают

¹ Erman. *Annales de Chimie*, 1807, LXI, стр. 115; *Davy's Elements*, стр. 168; *Biot. Encyclopaedia Britannica*, Suppl. IV, стр. 144; *Becquerel. Traité*, I, стр. 167; de la Rive, *Bibliothèque Universelle*, 1837, VII, стр. 392.

² Erman. *Annales de Chimie*, 1824, XXV, стр. 278; *Becquerel*, там же, XXXVI, стр. 329.

такое же несогласие. Если бы могло существовать униполярное тело, т. е. такое, которое, проводя одно электричество, не проводило бы другого, то каких совершенно новых характерных особенностей мы вправе были бы ожидать от проходящих сквозь него токов одного электричества, и как сильно должны бы они отличаться не только от обыкновенных токов, в которых, по нашему предположению, оба электричества движутся одновременно в противоположных направлениях в равных количествах, но также и друг от друга! Однако Беккерель,¹ Эндрьюс (Andrews)² и др. этим фактам, которые сами по себе превосходны, постепенно дали более правильное объяснение, и мне стало известно, что проф. Омс (Ohms)³ довел эту работу до конца в своем детальном исследовании всех этих явлений; он показал, что такие же явления могут иметь место в случае хороших проводников, и затем доказывает, что в мыле и т. п. многие из этих явлений обусловлены просто веществами, выделяющимися путем электролитического действия.

1636. Я прихожу отсюда к заключению, что *факты*, послужившие основой для учения об униполярности, не противоречат тому свойству единства и неделимости, которое я приписываю току, а равно не противоречат ему и явления в самом элементе, — их по справедливости можно сравнивать с явлениями в униполярных телах. По всей вероятности, явления, носящие

¹ Becquerel. Annales de Chimie, 1831, XLVI, стр. 283.

² Andrews. Philosophical Magazine, 1836, IX, стр. 182.

³ Schweigger's Jahrbuch der Chemie и т. д., 1830. Вследствие незнания немецкого языка, мне, к величайшему моему сожалению, недоступны многие весьма ценные статьи по экспериментальным исследованиям по электричеству, опубликованные на этом языке, и я не в состоянии отдать им должное. Я пользуюсь представившимся случаем, чтобы указать на другое обстоятельство, которое доставляет мне много неприятностей, и из-за которого, как я убедился на опыте, я могу показаться невнимательным к трудам других: оно заключается в постепенной потере памяти в течение последних нескольких лет; теперь не раз, читая статью, я припоминаю, что видел ее ранее, и был бы рад, если бы в надлежащий момент о ней вспомнил, чтобы сослаться на нее в своем докладе. М. Ф.

название явлений униполярности, и те своеобразные различия, которые обнаруживают положительная и отрицательная поверхности при разряде в воздух, газы или другие упомянутые выше диэлектрики (1480, 1525), находятся в тесной связи друг с другом.¹

1637. Недавно г. де ля Рив описал своеобразное и замечательное действие тепла на ток, проходящий в жидкости между электродами.² Оно заключается в том, что если платиновые электроды погружены в подкисленную воду, то нагревание или охлаждение положительного электрода не вызывает никакого изменения в проходящем токе; наоборот, нагревание отрицательного электрода увеличивало вызываемое током отклонение гальванометра от 12 до 30° и даже до 45°, а охлаждение его в такой же мере уменьшало ток.

1638. Что один электрод таким поразительным образом относится к теплу, тогда как другой остается абсолютно безразличным, представляется мне столь же несовместимым с самым, как я думаю, существом тока, как и униполярность (1627, 1635), и поэтому я приступил к повторению этого опыта с некоторым беспокоейством. Для электродов я выбрал платину, а в качестве электролита — воду, содержащую примерно одну шестую часть по весу серной кислоты; гальваническая батарея состояла из двух пар амальгамированных цинковых и платиновых пластин в разбавленной серной кислоте, а гальванометр в цепи был взят с двумя стрелками и при замыкании системы давал отклонение в 10 или 12°.

1639. При таких условиях нагревание каждого электрода усиливало ток; нагревание обоих вызывало еще больший эффект. Когда оба электрода были нагреты, при последующем охлаждении каждого из них действие на ток соответственно падало. Доля действия, зависящая от нагревания того или другого электрода,

¹ См. также статьи Гейра в *Silliman's Journal*, 1833, XXIV, стр. 246.

² *Bibliothèque Universelle*, 1837, VII, стр. 388.

менялась, но в общем нагревание отрицательного, поиндному, благоприятствовало прохождению тока несколько больше, чем нагревание положительного. Действие было одинаково, независимо от того, как подводилось тепло: снизу с помощью пламени, сверху с помощью паяльной лампы, или с помощью горячего железа, или угля.

1640. Устранив таким образом со своего пути затруднение во взглядах на ток, я не повел этого любопытного опыта дальше. Возможно, что разница между результатами моими и г. де ля Рива объясняется относительными значениями токов, которыми мы пользовались, ибо я применял только слабый ток, получающийся от двух пар пластин длиной два дюйма и шириной полдюйма каждая, тогда как г. де ля Рив пользовался четырьмя парами пластин с поверхностью в шестнадцать квадратных дюймов.

1641. Время от времени описывались электрические разряды в атмосфере в форме огненных шаров. Такие явления представляются мне несовместимыми со всем тем, что нам известно об электричестве и способах его разряда. Поскольку это явление включает элемент *времени* (1418, 1436), то, пожалуй, и возможно, что электрический разряд действительно переходит с места на место в виде шара; однако все указывает на то, что скорость его должна быть почти бесконечна, а продолжительность чрезвычайно мала, а потому невозможно, чтобы глаз ощущал его иначе, как в виде светлой линии. Я не хочу отрицать, что огненные шары могут появляться в атмосфере, но чтобы они имели что-либо общее с разрядом обыкновенного электричества или были вообще связаны с молнией или атмосферным электричеством, — это более чем сомнительно.

1642. Все эти соображения и многие другие способствуют тому заключению, которое делалось неоднократно, что ток есть вещь неделимая — силовая ось, в каждом месте которой обе

электрические силы¹ присутствуют в равном количестве (517, 1627). Такое представление согласуется с проводимостью, электролизом и даже с искровым разрядом и не входит в противоречие ни с одним из составленных нами ранее мнений, но, поскольку дело касается конвекции, то здесь возникает более поразительный результат, который поэтому следует принять во внимание.

1643. Если два шарика *A* и *B* наэлектризованы противоположным электричеством и влияют друг на друга, то в тот момент, когда они начинают двигаться по направлению друг к другу, возникает ток и те действия, которые мы понимаем под словом ток. Независимо от того, что куда движется: *A* к *B* или *B* в противоположном направлении к *A*, в результате возникает ток, и притом имеющий в обоих случаях *одинаковое направление*. Если *A* и *B* движутся друг от друга, то возникает ток противоположного направления или эквивалентные действия.

1644. С другой стороны, поскольку заряд существует только благодаря индукции (1178, 1299) и поскольку наэлектризованное тело неизбежно связано с другими телами, находящимися в противоположном состоянии, то если шарик посередине комнаты зарядить положительно и затем двигать в некотором направлении, то возникают такие явления, как если бы (чтобы употребить общепринятое выражение) существовал ток того же самого направления; а если зарядить шарик отрицательно, а затем перемещать, то возникают такие явления, как если бы образовался ток в направлении, обратном направлению движения.

1645. Я говорю здесь об одной или двух частицах то же самое, что я раньше говорил о многих (1633). Если предыдущее представление о токах справедливо, то только что сказанное должно быть его неизбежным следствием. И хотя такое утверждение может сначала показаться странным, но следует учесть, что, согласно моей теории индукции, заряженный проводник или части-

¹ Я рад случаю упомянуть здесь о результатах, полученных г. Кристи с магнито-электричеством (Philosophical Transactions, 1833, стр. 113, примечание). Что касается тока в проводе, то эти результаты подтверждают все то, что я защищаю.

ца связаны с удаленным от него проводником, находящимся в противоположном состоянии, или с тем, который ограничивает распространение индукции при посредстве всех промежуточных частиц (1165, 1295); последние становятся поляризованными точно так же, как поляризуются частицы твердого электролита, находящегося между двумя электродами. А поэтому заключение, что единство и тождество тока в случае конвекции таковы же, как в предыдущих случаях, не так уже странно, как могло бы на первый взгляд показаться.

1646. Имеется одно весьма замечательное явление или действие электролитического разряда, впервые отмеченное, кажется, г. Порреттом (Porrett); оно заключается в накоплении, под разлагающим действием тока, жидкости по одну сторону промежуточной диафрагмы.¹ Это результат механический, и поскольку во всех известных случаях жидкость проходит от положительного электрода к отрицательному, то результат этот, повидимому, указывает на связь с поляризованным состоянием того диэлектрика, в котором проходит ток (1164, 1525). До сих пор это явление не было в достаточной степени изучено экспериментально: так, по словам де ля Рива,² требуется, чтобы вода была плохим проводником, как, например, дистиллированная, а в крепких растворах явление не происходит; наоборот, Дютроше (Dutrochet) утверждает³ противоположное и говорит, что это явление обусловлено не прямым действием электрического тока.

1647. В своем «Трактате об электричестве» Беккерель сопоставил соображения за и против того мнения, что это действие является преимущественно электрическим.⁴ Хотя в настоящий момент я лишен возможности привести убедительные факты,

¹ Annals of Philosophy, 1816, VIII, стр. 75.

² Annales de Chimie, 1835, XXVIII, стр. 196.

³ Annales de Chimie, 1832, XLIX, стр. 423.

⁴ Traité de l'Electricité, IV, стр. 192, 197.

но я не могу не высказать мнение, что это явление аналогично как соединению, так и конвекции (1623), представляя собой случай переноса, обусловленный сродством между диафрагмой и соприкасающейся с ней жидкостью, через совокупность которых осуществляется электрический разряд, и, далее, что уже упомянутое (1482, 1503, 1525) своеобразное отношение, существующее между положительной и отрицательной, между малой и большой поверхностями, может являться непосредственной причиной перемещения жидкости и диафрагмы в противоположных, но определенных направлениях. Г-н Беккерель¹ произвел весьма ценный опыт с частицами глины, который, вероятно, значительно поможет выяснить этот вопрос.

1648. До тех пор, пока терминами: ток и электродинамический будут пользоваться для выражения тех соотношений электрических сил, при которых принимается существование поступательного движения жидкостей или действий (283), — до тех пор с ними будет связываться представление о скорости, и, может быть, это скажется особенно в случае, если будет принята гипотеза об одной или двух жидкостях.

1649. Отсюда возникало желание измерить эту скорость либо непосредственно, либо с помощью какого-либо обусловленного ею действия, и среди правильных попыток этого рода следует, пожалуй, особо отметить опыты д-ра Уатсона (Watson)² в 1748 г. и проф. Уитстона в 1834 г.;³ при более ранних опытах предполагалось, что электричество перемещается от одного конца установки к другому, но в последних исследованиях иногда, повидимому, делалось различие между передачей действия и передачей той воображаемой жидкости, частицы которой вызывают это действие своим движением.

¹ *Traité de l'Electricité*, I, стр. 285.

² *Philosophical Transactions*, 1748.

³ Там же, 1834, стр. 583.

1650. Электролитическое действие имеет тесное отношение к этому вопросу о скорости тока, особенно в связи с теорией одной или двух электрических жидкостей. Здесь, несомненно, имеет место видимая передача силы одновременно с переносом каждой из частичек присутствующего аниона или катиона к соседним частицам катиона или аниона; и поскольку величина силы является определенной, то таким путем мы получаем возможность как бы локализовать силу, отождествляя ее с помощью частиц и оперируя с ней в последовательных порциях, что приводит, я полагаю, к весьма замечательным результатам.

1651. Предположим, например, что под действием гальванической батареи разлагается вода. Каждая частица водорода при своем перемещении в одном направлении или частица кислорода при своем перемещении в другом будут переносить определенное количество электрической силы, связанной с ней в форме химического средства (822, 852, 918), вперед на расстояние, равное тому, на которое переместилась сама частица. Этот перенос сопровождается соответствующим смещением электрических сил через все участки образовавшейся цепи (1627, 1634), и о действии его можно судить, например, по нагреванию проволоки (853) в каждом данном, хотя бы и удаленном сечении провода. Если вода представляет собой куб со стороной в один дюйм, причем электроды соприкасаются с ней каждый поверхностью в один квадратный дюйм и отстоят друг от друга на один дюйм, то можно считать, что за время разложения одной десятой части воды, т. е. 25,25 грана, частицы кислорода и водорода во всей массе воды переместились по отношению друг к другу в противоположных направлениях на расстояние одной десятой дюйма, т. е. что две частицы, бывшие сначала в соединении, окажутся после перемещения на расстоянии одной десятой дюйма друг от друга. Другие возникающие в жидкости движения нисколько не помешают этому результату, ибо не могут ни ускорить, ни замедлить электрический разряд и фактически не имеют к нему никакого отношения.

1652. Количество электричества в 25,25 грана воды, согласно сделанному мною ранее (861) подсчету, больше 24 миллионов

зарядов большой лейденской батареи; другими словами, оно могло бы поддерживать в состоянии красного каления в течение полутора часов платиновую проволоку какой угодно длины диаметром $1/104$ дюйма (853). Хотя этот результат и дан только как некоторое приближение, но до сих пор я не видел оснований менять его, и в общем он подтверждается опытами и выводами г. Пулье (Pouillet).¹ Согласно опытам г. Уитстона, влияние или действия тока через одну секунду стали бы проявляться на расстоянии 576 000 миль.² С этой точки зрения, мы, значит, имеем, с одной стороны, огромное количество силы, равное самому разрушительному грозовому удару, мгновенно появляющееся на расстоянии 576 000 миль от своего источника, а с другой — спокойное действие, при создании которого на перемещение силы на одну десятую дюйма силе потребовалось полтора часа; тем не менее, они эквивалентны друг другу, так как действия, которые они представляют собой, наблюдаются в сечениях одного и того же тока (1634).

1653. Пора обратить внимание на боковые, или поперечные силы *тока*. Важные открытия Эрстеда, Араго, Ампера, Дэви, де ля Рива и др. и та исключительная простота, которую приобрели их установки благодаря теории Ампера, не только способствовали в самой высокой степени чрезвычайно быстрому развитию этой отрасли знания, но и обеспечили ей такое внимание, что нет необходимости настаивать на продолжении этих исследований. Я, конечно, имею в виду магнитное действие и его соотношения; но хотя оно является единственным известным боковым действием тока, есть большие основания предполагать, что существуют и другие, открытие которых послужит наградой за упорные поиски их (951).

1654. Магнитное, или поперечное действие тока, повидимому, совершенно не зависит от тех изменений и способов действия.

¹ Becquerel. Traité de l'Electricité, V, стр. 278.

² Philosophical Transactions, 1834, стр. 589.

которые ток проявляет непосредственно на своем пути; а потому оно является для нас тем более ценным, что дает большее представление об этой силе, чем всякое другое действие, которое могло бы меняться с каждым типом разряда. Независимо от того, как разряд осуществляется: путем проводимости через провод с бесконечной скоростью (1652), путем электролиза с соответствующим присущим последнему чрезвычайно медленным движением (1651) или путем искры, или, возможно, даже с помощью конвекции, — создаваемое им поперечное магнитное действие всегда одинаково по характеру и направлению.

1655. Ряд исследователей показал, что для разряда *одного и того же типа* величина боковой или магнитной силы весьма постоянна (216, 366, 367, 368, 376). Однако, если бы мы пожелали сравнить разряды различного типа, с целью убедиться, будет ли одна и та же величина тока в его *различных формах* создавать одинаковую величину поперечного действия, мы найдем эти данные очень несовершенными. Дэви нашел, что электрический ток, проходящий через водный раствор, влияет на магнитную стрелку,¹ а д-р Ригчи говорит, что ток в электролите столь же магнитен, как ток в металлическом проводе;² он заставил воду вращаться вокруг магнита, как вращался бы несущий ток провод.

1656. Разрывной разряд производит свои магнитные действия: сильная искра, проскакивающая перпендикулярно стальной игле, намагничивает ее так же, как если бы электричество искры шло по металлическим проводам, расположенным по линии разряда; а сэр Г. Дэви показал, что приближение магнитов влияло на разряд гальванической батареи в пустоте и приводило его в движение.³

1657. Итак, три весьма различных типа разряда, а именно: проводимость, электролиз и разрывной разряд, одинаково создают важное поперечное явление магнетизма. Пока еще не установлено, будет ли конвекция или переносный разряд произво-

¹ Philosophical Transactions, 1821, стр. 426.

² Там же, 1832, стр. 294.

³ Philosophical Transactions, 1821, стр. 427.

дить такое же явление, а те несколько опытов, которые я до сих пор успел произвести, не дают мне возможности ответить на вопрос утвердительно.

1658. Теперь я, имея намерение использовать явления тока для проверки справедливости или ошибочности той теории индукции, которую я осмелился выдвинуть, испытываю сильный соблазн позволить себе несколько соображений общего характера относительно бокового действия тока и его возможной связи с поперечным направлением линий обыкновенной индукции (1165, 1304).¹ Я долго искал — и все еще ищу — такого явления или состояния, которое бы представляло собой для статического электричества то же, что магнитная сила представляет для тока электричества (1411). В самом деле, поскольку линии разряда связаны с некоторым поперечным действием, мне представлялось возможным, что и линиям напряжения или индуктивного действия, которые неизбежно предшествуют этому разряду, также должно быть присуще поперечное состояние или действие (951).

1659. Согласно прекрасной теории Ампера, присущую току поперечную силу можно представлять как его притяжение к такому же току или отталкивание от противоположного тока. Не может ли тогда эквивалентная поперечная сила статического электричества быть представлена тем боковым напряжением или отталкиванием, которым, видимо, обладают линии индуктивного действия (1304)? Далее, когда ток или разряд возникает между двумя телами, которые перед тем были связаны друг с другом индуктивно, то линии индуктивной силы ослабевают и исчезают, и поскольку их боковое отталкивание уменьшается, то они стягиваются и, в конце концов, исчезают на линии разряда. Нельзя ли считать это явление тождественным с притяжениями токов одного направления, т. е. не может ли переход статического электричества в ток электричества и переход бокового давления линий индуктивной силы в боковые притяжения линий

¹ Дальнейшие исследования см. в пп. 1709—1736. Дек. 1838 г.

одинаковых разрядов находится в таких же взаимных отношениях и зависимости, и не могут ли они протекать параллельно друг другу?

1660. Явления индукции токов, которые мне посчастливилось открыть несколько лет тому назад (6 и т. д., 1048), может быть, послужат сейчас связующим звеном в этом ряду явлений. Когда ток только образуется, он стремится создать во всем окружающем его веществе ток противоположного направления, и если это вещество обладает проводящими свойствами и находится в подходящих условиях, то такой ток возникает. Наоборот, при прекращении первоначального тока везде вокруг него стремится образоваться ток того же направления, и если проводящее вещество расположено надлежащим образом, он будет в нем возникать.

1661. Поэтому, хотя мы обнаруживаем эти явления только в той части расположенного поблизости вещества, которая обладает проводящими свойствами, тем не менее, возможна гипотеза, что непроводящее вещество также находится в некоторых взаимоотношениях с возмущающей причиной и подвергается ее влиянию, хотя мы этого до сих пор и не обнаружили. Не раз я указывал, что соотношение между проводниками и непроводниками представляет собой не качественную, а лишь количественную противоположность (1334, 1603), а потому как по данному, так и по другим основаниям, вероятно, то, что действует на проводник, будет действовать и на изолятор, производя в нем, может быть, нечто, чему можно дать название электротонического состояния (60, 242, 1114).

1662. Именно уверенность в том, что должна существовать некоторая боковая связь между линиями электрической силы (1114), некоторое до сих пор неизвестное звено в этой цепи явлений, побуждает меня высказать эти мысли. Та же самая уверенность заставила меня произвести многочисленные опыты введения между несущими токи проводами и магнитными полюсами изолирующих диэлектриков с различными индуктивными способностями (1270, 1277) так, чтобы они пересекали линии

магнитной силы. Эти тела, с которыми я делал опыты, были в покое и в движении, но до сих пор мне не удалось обнаружить, чтобы они производили какое-либо влияние; однако я никоим образом не считаю эти опыты достаточно чувствительными и вскоре намереваюсь сделать их в более решающем виде.¹

1663. Я полагаю, что этот предположительный вопрос может быть в настоящий момент поставлен следующим образом: можно ли такими соображениями, какие в общем виде формулированы выше (1658), объяснить поперечные действия электрических токов? Связаны ли два таких тока друг с другом только индуктивным состоянием частиц вещества между ними или они связаны более высоким свойством и состоянием (1654), которое, действуя на расстоянии, а не при посредстве промежуточных частиц, не имеет к ним никакого отношения, подобно силе тяготения?

1664. Если справедливо последнее, то когда электричество действует на вещество и внутри вещества, то его продольное и поперечное действия являются существенно отличными по своей природе, ибо первое, если я не ошибаюсь, зависит от смежных частиц, а последнее — не зависит. Как я говорил ранее, это может быть так, и в настоящее время я склоняюсь к такому взгляду, но я хотел бы наметить соображения, почему и не могло быть иначе, для того чтобы этот вопрос был разобран исчерпывающим образом.

1665. Поперечная сила носит на себе отпечаток полярности. В простейшем виде она проявляется как притяжение или отталкивание, в зависимости от того, как токи направлены: одинаково или различно; в токе и магните она проявляется в виде тангенциальных сил, а в магнитах и на частицах создает полюсы. Но опыты, которые я произвел, убедили меня в том, что полярные силы электричества, как, например, в индукции и электролитическом действии (1298, 1343), обнаруживают действия на расстоянии только через посредство смежных и промежуточных частиц, и я с тех пор думаю, что *все полярные силы* действуют таким же

¹ См. далее пп. 1711—1726. Дек. 1838 г.

образом одинаково во всех случаях; и другие виды явлений, которые можно привести в связь с данным предметом, повидимому, подкрепляют такую мысль. Так, при кристаллизации действие передается от частицы к частице, и таким образом в уксусной кислоте или замерзающей воде меньше чем в секунду образуется кристалл длиною в несколько дюймов или даже в пару футов, но образуется постепенно и путем передачи силы от частицы к частице. И, насколько я только припоминаю, за исключением того действия, которое мы сейчас рассматриваем, невозможно указать случая полярного действия или действия, имеющего свойства полярного, которое не действовало бы при посредстве смежных частиц.¹ Что дело так обстоит, это, очевидно, обусловлено природой полярных сил, ибо одна сила либо находит, либо развивает вблизи себя противоположную силу, а поэтому ей не приходится искать ее на расстоянии.

1666. Однако, оставляя в стороне эти гипотетические представления относительно природы бокового действия и возвращаясь к продольным действиям, я полагаю, что рассмотренные явления и рассуждения, которыми я пользовался в настоящем и в двух предшествующих докладах, склонны подтверждать принятую ранее точку зрения (1164), а именно, что обыкновенное индуктивное действие и обусловленные им явления вызываются действием смежных частиц диэлектрика, находящегося между заряженными поверхностями или местами, которые составляют как бы границы этого явления. Главной отличительной чертой этой теории, ее сильной стороной (если она таковой обладает) является то, что она приписывает диэлектрику существенное и специфическое значение, а не считает, что диэлектрик является чисто случайным обстоятельством или представляет просто пространство, оказывая на рассматриваемые явления не больше влияния, чем самое пространство, им занятое. У меня имеются

¹ Под смежными частицами я понимаю те, которые являются ближайшими друг к другу, а не те, между которыми *нет* пустого пространства. См. п. 1616.

еще некоторые другие связанные с настоящей теорией результаты и взгляды относительно природы электрических сил и возбуждения, и если при дальнейшем изучении они не потеряют, по моему мнению, своей ценности, то я в ближайшее время изложу их в другой серии настоящих исследований по электричеству.

Королевский институт.

14 февраля 1838 г.

ЧЕТЫРНАДЦАТАЯ СЕРИЯ

Раздел 20. Природа электрической силы или сил. Раздел 21. Связь между электрической и магнитной силами. Раздел 22. Замечание об электрическом возбуждении.

Поступило 21 июня 1838 г. Доложено 21 июня 1838 г.

РАЗДЕЛ 20

Природа электрической силы или сил

1667. Выдвинутая и разъясненная в трех предшествующих сериях экспериментальных исследований теория индукции не делает никаких новых допущений относительно природы электрической силы или сил, а только относительно их распределения. Действия эти могут объясняться либо соединением одной электрической жидкости с частицами вещества, как в теориях Франклина, Эпинуса, Кэвендиша и Моссоти (Mossotti), либо соединением двух электрических жидкостей, как в теории Дюфе (Dufay) и Пуассона, либо чем-нибудь таким, что никак нельзя было бы с полным основанием называть электрической жидкостью; они могут объясняться колебаниями или другими изменениями того вещества, в котором они проявляются. Такие различия в основном представлении о природе этих сил не оказывают влияния на теорию, и хотя она ставит себе целью выяснить, *каким* образом расположены эти силы (по крайней мере в индуктивных явлениях), но, насколько я пока могу судить, ни один опыт, который она дает, нельзя считать доказываю-

щим справедливость которого-нибудь из этих разнообразных взглядов.

1668. Однако столь же, а, может быть, и еще более важно установить, каким образом расположены эти силы, проследить их в их разнообразных отношениях с частицами вещества, определить их основные законы, а также те специфические различия, которые обнаруживаются при этих законах; узнать, сосредоточены ли эти силы в некоторой жидкости или нет. В надежде способствовать такому исследованию, я предложу ряд дальнейших теоретических и опытных соображений относительно условий, в которых, как я полагаю, находятся частицы вещества, когда они обнаруживают индуктивные явления.

1669. Теория предполагает, что все *частицы*, — все равно, какого вещества: изолирующего или проводящего, — как целое представляют собой проводники.

1670. Что, не будучи полярными в своем нормальном состоянии, они могут становиться таковыми под влиянием соседних заряженных частиц, и что состояние полярности развивается мгновенно — точно так же, как в изолированной проводящей *массе*, состоящей из многих частиц.

1671. Что поляризованные частицы находятся в вынужденном состоянии и стремятся возвратиться в свое нормальное, или естественное состояние.

1672. Что, будучи как целое проводниками, они легко могут заряжаться либо *как одно тело*, либо *полярно*.

1673. Что частицы, которые, будучи смежными,¹ находятся, кроме того, на линии индуктивного действия, могут сообщать или передавать одна другой свои полярные силы с *большой или меньшей* легкостью.

1674. Что для частиц, в которых это происходит с меньшей легкостью, требуется, чтобы полярные силы были подняты до более высокой степени, дабы началась такая передача или сообщение сил.

¹ См. примечание к п. 1164. Дек. 1838 г.

1675. Что легкость передачи сил между смежными частицами составляет *проводимость*, а затрудненность — *изоляция*; что проводники и изоляторы представляют собой тела, частицам которых от природы присуща способность передавать соответствующие силы легко или с трудом; что они представляют в этом отношении такие же различия, как в отношении любого другого естественного свойства.

1676. Что обыкновенная индукция является результатом действия материи, заряженной возбужденным или свободным электричеством на изолирующее вещество, и что эти действия стремятся произвести в веществе противоположное состояние равной величины.

1677. Что индукция может произвести это только путем поляризации смежных с веществом частиц, которые выполняют то же по отношению к следующим, а эти, в свою очередь, по отношению к лежащим дальше их, и что таким образом действие распространяется от наэлектризованного тела к ближайшей проводящей массе и там выявляет противоположную силу, сообщая ее этим массам; что в проводящей массе такое сообщение накладывается на поляризацию частиц этого вещества (1675).

1678. Что таким образом индукция может иметь место только через изоляторы или сквозь них; что индукция представляет собой явление изоляции, которая является необходимым следствием состояния частиц и того, каким образом влияние электрических сил переносится или передается через такие изолирующие среды или сквозь них.

1679. Находящиеся под влиянием индукции частицы изолирующего диэлектрика можно сравнить с большим количеством небольших магнитных стрелок или, точнее, небольших изолированных проводников. Предположим, что пространство вокруг заряженного шара заполнено смесью изолирующего диэлектрика, каковы, например, скипидар или воздух, и маленьких шаровидных проводничков, как, например, дробины, и пусть последние находятся друг от друга на небольшом расстоянии, чтобы быть изолированными; тогда по своему состоянию и действию они

в точности напоминали бы то, что я считаю состоянием и действием частиц настоящего изолирующего диэлектрика (1337). Если шар зарядить, то все эти маленькие проводнички станут полярными; если разрядить шар, то все они вернутся в свое нормальное состояние, и снова поляризуются при заряде шара. Состояние, производимое индукцией через такие частицы в находящейся на некотором расстоянии проводящей массе, будет противоположного рода, а по величине в точности равно силе на индуцирующем шаре. Должно существовать рассеяние силы (1224, 1297) в стороны, потому что каждый поляризованный шарик находится в состоянии активного напряжения по отношению ко всем смежным с ним шарикам, точно так же, как один магнит может оказывать действие на две или более магнитные стрелки вблизи себя, а последние, в свою очередь, на еще большее число расположенных дальше. Результатом этого должно быть искривление линий индуктивной силы, если подвергнутое индукции тело в таком смешанном диэлектрике представляет собой неизолированный металлический шар (1219 и т. д.) или массу другой подходящей формы. Такие кривые линии являются следствием принятого мною расположения двух электрических сил, и то, что индуктивная сила может быть направлена по таким кривым линиям, является наиболее веским доказательством существования обеих сил и полярного состояния частиц диэлектрика.

1680. Мне кажется очевидным, что в приведенном примере действие на расстояние может иметь место только в результате действия смежных проводящих частиц. Нет никакого основания для того, чтобы индуцирующее тело поляризовало удаленные проводники или действовало на них и не влияло на те, которые находятся поблизости от него, т. е. на частицы диэлектрика; все факты и опыты с проводящими массами или частицами заметных размеров противоречат такому предположению.

1681. Поразительным свойством электрической силы является ее ограниченность и специфичность, а также то, что обе силы присутствуют всегда в совершенно равных количествах. Эти силы между собой связаны одним из двух путей: либо как при естествен-

ном нормальном состоянии незаряженного изолированного проводника, либо как при заряженном состоянии; последнее представляет собой случай индукции.

1682. Легко устроить опыт с индукцией таким образом, что обе силы, будучи ограничены в своем направлении, не дадут никаких явлений или указаний о себе вне применяемых приборов. Так, если зарядить лейденскую банку, у которой наружная обкладка немного выше внутренней, а затем удалить зарядный шарик и стержень, то такая банка не обнаруживает никаких электрических действий, пока ее внешняя обкладка заземлена. Две силы, которые, как предполагается, сосредоточены в обкладках или смежных с ними частицах диэлектрика, полностью связаны друг с другом индукцией через стекло, и шарик-переносчик (1181), приложенный к банке внутри или снаружи, не покажет никаких следов электричества. Но если банку изолировать, а зарядный шарик и стержень, которые пусть будут в незаряженном состоянии и висят на изолирующем шнуре из белого шелка, возвратить на прежнее место, то часть, выступающая поверх банки, будет давать указания на электричество и заряжать шарик-переносчик; в то же время *внешняя* обкладка банки обнаружит противоположное состояние и будет индуцировать по направлению к внешним окружающим предметам.

1683. Эти явления представляют собой простые следствия теории. Пока заряд внутренней обкладки мог производить индукцию только через стекло по направлению к внешней обкладке, а последняя содержала противоположной силы как раз столько, сколько было эквивалентно этому заряду, вне банки нельзя было обнаружить никакой индукции; когда же внутренняя обкладка была дополнена стержнем и шариком так, что она могла оказывать индуцирующее действие через воздух на внешние предметы, тогда напряжение поляризованных молекул стекла, в силу их стремления вернуться в нормальное состояние, немного падало, и часть заряда, проходящего к поверхности этой новой добавочной части внутреннего проводника, производила индуктивное действие через воздух по направлению к находящимся на не-

котором расстоянии предметам; одновременно часть силы на внешней обкладке, ранее направленная внутрь, теперь оказывалась свободной и, конечно, была вынуждена индуцировать наружу через воздух, производя на этой внешней обкладке то, что иногда называется, хотя, по-моему, весьма неудачно, свободным зарядом. Если небольшую лейденскую банку переделать в прибор, известный под названием электрического фонтана, она прекрасно может иллюстрировать это действие.

1684. Поэтому термины *свободный заряд* и *скрытое электричество* приводят к ошибочным представлениям, если ими желают обозначать какое-либо различие в отношении характера или рода действия. Заряд на изолированном проводнике в середине комнаты находится в таком же отношении к стенам этой комнаты, как заряд на внутренней обкладке лейденской банки и внешней обкладке той же банки. Один является не более *свободным* или *скрытым*, чем другой: и если иногда мы обнаруживаем электричество там, где ранее его присутствие не было очевидным, как, например, на внешней обкладке лейденской банки, когда мы, изолировав ее, касаемся внутренней ее обкладки, то это происходит только потому, что мы более или менее отклоняем индуктивную силу от одного направления к другому, ибо при таких условиях в характер или действие силы не вносится ни малейшего изменения.

1685. Изложив эту общую теоретическую точку зрения, я теперь отмечу отдельные положения, имеющие отношение к природе принимаемой нами электрической полярности частиц изолирующего диэлектрика.

1686. При обыкновенной индукции полярное состояние можно рассматривать как вынужденное, из которого частицы стремятся возвратиться в свое нормальное состояние. Сближением индуцирующего и индуцируемого тел или с помощью других операций это состояние, вероятно, может быть усилено до весьма высокой степени; и явления электролиза, повидимому (861, 1652, 1706).

доказывают, что количество силы, которое может быть таким образом накоплено на отдельной частице, огромно. В дальнейшем мы, может быть, будем в состоянии сравнивать друг с другом корпускулярные силы, как силы тяготения, сцепления, электричество и химическое сродство, и тем или иным путем определять по их действиям их относительные эквиваленты; в настоящее время это невозможно, но, повидимому, нет оснований сомневаться в том, что электрические силы их, которые в то же время являются и химическими (891, 918), окажутся наиболее энергичными.

1687. Я не думаю, что развиваемые поляризацией силы сосредоточены на поверхности каждой частицы в двух отдельных точках или участках, являющихся как бы полюсами некоторой оси; я полагаю, что они распределены на больших участках этой поверхности, как это имеет место на поверхности проводника ощутимых размеров, когда он приведен в полярное состояние. Тем не менее, весьма вероятно, что в этом отношении частицы различных тел могут представлять специфические различия, и что силы, хотя и равны по величине, распределены неодинаково; другие обстоятельства, как форма и свойства, также могут сообщать каждой частице особые полярные соотношения. Может быть, именно существованию различий такого рода следует приписать специфические особенности различных диэлектриков в отношении разряда (1394, 1508). Так, из таблицы в п. 1518 тринадцатой серии можно усмотреть, что кислород и азот представляют странные контрасты, когда в них производится искровой и кистевой разряды; в самом деле, в азоте, когда индуцирующим были маленький отрицательный шарик или большой положительный шар, явления соответствовали тем, которые в кислороде производились, когда индуцирующим был маленький положительный шарик или большой отрицательный шар.

1688. В таких твердых телах, как стекло, шеллак, сера и т. п., частицы, видимо, способны поляризоваться по всем направлениям, ибо опыты, произведенные над массой вещества с целью установить ее индуктивную способность в трех или более направлениях

(1690), не дают указаний на различие в этом отношении. Поскольку же частицы в массе неподвижны, и поскольку направление индукции через них должно меняться с изменением ее относительно этой массы, постоянство действия указывает на то, что частицы могут электрически поляризоваться в любом направлении. Сказанное согласуется с принятым ранее представлением о каждой частице в целом как о проводнике (1669); будучи опытным фактом, явление это способствует подтверждению такого взгляда.

1689. Но хотя частицы могут таким образом поляризоваться в *любом* направлении под влиянием сил, обладающих, вероятно, чрезвычайной энергией (1686), отсюда не следует, чтобы каждая частица не стремилась поляризоваться в одном направлении до более высокой степени или с большей легкостью, чем в другом, или чтобы частицы различного рода не обладали в этом отношении такими же специфическими различиями, какие они обнаруживают в отношении проводимости и других свойств (1296, 1326, 1395). Я усердно искал соотношений такого рода и остановился на кристаллических телах, так как в них все частицы расположены симметрично и лучше всего могут выявить какое-нибудь следствие, зависящее от изменения направления сил по отношению к направлению тех частиц, в которых эти силы развиваются; я производил над ними весьма тщательные опыты. К такому исследованию меня еще более побуждали прекрасные электрические свойства кристаллических тел: турмалина и борацита; я надеялся определить также связь между электрической полярностью и полярностью кристаллизации или даже самого сцепления (1316). Мои опыты не привели ни к какой связи искомого характера. Но так как, по моему мнению, одинаково важно показать, существует или не существует такая связь, я вкратце опишу эти результаты.

1690. Опыт производился следующим образом: латунный шарик диаметром в 0,73 дюйма был приделан на конце горизонтального латунного стержня, а тот, в свою очередь, был укреплен на конце латунного цилиндра; при посредстве последнего

шарик был соединен с большой лейденской батареей (291); для соединения служили одни металлические провода; задача заключалась в том, чтобы поддерживать данный шарик путем его соединения с заряженной батареей в наэлектризованном состоянии, весьма близком к однородному, непрерывно в течение получаса. Этот шарик действовал как индуцирующее тело. Индуцируемым телом был шарик-переносчик крутильного электрометра (1229, 1314), а диэлектриком между ними являлся куб, вырезанный из кристалла таким образом, что две его грани были нормальны



Рис. 149.

к оптической оси, а остальные четыре — параллельны ей. На индуцирующем шарике, в месте, противоположном месту соединения с латунным стержнем, был приклеен небольшой выступающий кусочек шеллака, чтобы предупредить непосредственный контакт между шариком и кристаллическим кубом. Слой шеллака наносился также на ту сторону шарика-переносчика, которая была обращена к кубу и являлась наиболее удаленной от отталкиваемого шарика в электрометре, когда шарик-переносчик туда вводился. Куб был покрыт тонким слоем раствора шеллака в спирту, чтобы предупредить осаждение влаги из воздуха на его поверхности. Он лежал на небольшой плитке из шеллака, укрепленной на верхушке стержня из того же вещества; стержень был достаточно крепок для того, чтобы удержатъ куб, и, тем не менее, благодаря своей длине достаточно гибок, чтобы пружинить и прижимать куб в надлежащем положении к шеллаку индуцирующего шарика.

1691. Таким образом можно было легко устанавливать индуцируемый шарик всегда на одно и то же расстояние от индуцируемого, заземлять и снова изолировать его на том же месте, а затем, после измерения электрометром силы (1181), возвращать на прежнее место против индуцирующего шарика для вторичного наблюдения. Можно было также, вращая поддерживающую куб стойку, поворачивать к индуцирующему шарiku одну за другой каждую из четырех его граней и таким образом наблюдать силу как в том случае, когда линии индуктивного действия (1304) совпадают с направлением оптической оси кристалла, так и в том, когда они ему перпендикулярны. Обычно для четырех вертикальных граней куба производилось от двадцати до двадцати восьми последовательных наблюдений, а затем вычислялось среднее значение индуктивной силы; последнее сравнивалось с подобными же средними значениями, полученными в другие разы; при этом принимались все предосторожности, чтобы обеспечить точные результаты.

1692. Первым был исследован куб из горного хрусталя; ребро куба было равно 0,7 дюйма. Он давал замечательную и постоянную разницу; среднее не менее чем 197 наблюдений дало для удельной индуктивной способности в направлении, совпадающем с оптической осью куба, величину 100, тогда как для двух перпендикулярных ей направлений получались значения 93,59 и 93,31.

1693. Однако для второго куба из горного хрусталя соответствующие результаты не получались. Ребро его было равно 0,77 дюйма. Среднее из многочисленных опытов дало для удельной индуктивной способности в направлении, совпадающем с оптической осью, величину 100, а для двух других направлений — 98,6 и 99,92.

1694. Лорд Эшли (Ashley), всегда, как я убедился, готовый содействовать науке, помог мне получить для настоящего исследования во временное пользование три шара из горного хрусталя, принадлежащие ее светлости герцогине Сутерлендской. Два из них из-за трещины были непригодны для опытов (1193,

1698). Третий, исключительно совершенный, не дал мне никаких указаний на какое бы то ни было различие индуктивной силы в разных направлениях.

1695. Затем я брал кубы из исландского шпата. Один, диаметром в 0,5 дюйма, дал для направления, совпадающего с осью, число 100, а для двух поперечных направлений — 98,66 и 95,74. Другой, со стороны, равной 0,8 дюйма, давал 100 по оси; для поперечных же направлений получались числа 101,73 и 101,86.

1696. Кроме этих различий, наблюдались и другие, которые я не считаю нужным излагать, так как главное положение не нашло подтверждения. В самом деле, хотя опыты с первым кубом подавали большие надежды, но последующие опыты не позволили придать им общего значения. Результаты с этим кубом не вызывают у меня никакого сомнения, но пока что их нельзя отнести за счет кристаллизации. В кубе имеется несколько слабо окрашенных слоев, параллельных оптической оси, и окрашивающее их вещество могло иметь некоторое влияние; однако в то же время слои почти параллельны поперечному направлению, и если они действительно оказывают какое-либо влияние, то должны также оказывать некоторое действие в этом направлении, чего, однако, не было.

1697. В некоторых из опытов половина или вообще некоторая часть куба обнаруживала превосходство над другой частью; мне не удалось проследить, чтобы оно вызывалось тем или иным зарядом, полученным различными частями. Было установлено, что покрытие кубов лаком устраняет всякое сообщение им заряда, за исключением (в нескольких опытах) невысокой степени отрицательного состояния, которое являлось противоположным состоянию индуцирующего шарика (1564, 1565).

1698. Насколько мне удалось обнаружить, я считаю себя вправе сказать, что изолирующие свойства испытывавшихся кубов были совершенны или, по крайней мере, настолько близки к совершенству, что могли выдерживать сравнение с шеллаком, стеклом и т. п. (1255). Что касается причины этих различий, кроме правильной кристаллической структуры, то их может быть не-

сколько. Так, мельчайшие незаметные для глаза трещины в кристалле могут быть расположены таким образом, что создают заметное электрическое различие (1193). Или же кристаллизация может быть неправильна, или вещество может быть не достаточно чисто, а если мы вспомним, какого незначительного количества вещества достаточно, чтобы сильно повлиять на проводимость воды, то будет вполне правдоподобно, что небольшое количество постороннего вещества, рассеянного по всему кубу или по части его, может произвести явления, достаточные для объяснения всех наблюдавшихся неправильностей действия.

1699. В отношении электрической полярности частиц изолирующего диэлектрика важно установить, что именно играет роль изолированных, проводящих поляризованных участков (1669): самые молекулы данного подвергаемого действию вещества или же их составляющие, т. е. элементарные частицы.

1700. Я пришел к заключению, что поляризуются именно молекулы вещества как целое (1347), и что, как бы ни был сложен состав вещества, все те частицы или атомы, которые химическим средством удерживаются в связи и образуют молекулу результирующего вещества, — все они действуют как одна проводящая масса или частица, когда в веществе, частью которого они являются, производятся индуктивные явления и поляризация.

1701. Такое заключение основано на целом ряде соображений. Так, если мы изучаем изолирующую способность и проводимость элементов, испытываемых в качестве диэлектрика, то мы наталкиваемся на такие, как сера, фосфор, хлор, иод и т. п., частицы которых изолируют, а, следовательно, и поляризуются в высокой степени, тогда как другие, как, например, металлы, почти не проявляют этой способности в заметной степени; их частицы свободно проводят одна к другой. Тем не менее, когда они вступают в соединение, вещества, которые они образуют, не имеют, по видимому, в этом смысле сходства с составляющими их элементами. В самом деле вода, серная кислота и подобные им слож-

ные тела, составленные из изолирующих элементов, проводят сравнительно хорошо, тогда как окись свинца, флинт-стекло, борат свинца и другие металлические соединения, содержащие значительное количество проводящего вещества, чрезвычайно хорошо изолируют. Возьмем для примера окись свинца; я полагаю, что под действием индукции поляризуются вовсе не частицы кислорода и свинца отдельно; явление это обнаруживают молекулы окиси свинца, и при этом всеэлементы одной частицы результирующего вещества связаны как части одного проводящего индивидуального тела химическим сродством; последнее же представляет собой лишь иное выражение для электрической силы (918).

1702. Вещества, которые являются электролитами, дают еще больше оснований предполагать такое положение вещей. Так, когда между электродами гальванической батареи находятся вода, хлорид олова, иодид свинца и т. п. в твердом состоянии, то их частицы поляризуются, как частицы всякого другого изолирующего диэлектрика (1164); когда же эти вещества переводятся в жидкое состояние, то поляризованные частицы распадаются на две половины; каждая из них, сильно заряженная, перемещается вперед до тех пор, пока не натолкнется на другую частицу в противоположном и равном заряженном состоянии; с этой частицей она соединяется и при этом нейтрализует ее химические, т. е. электрические силы; затем вновь образуются сложные частицы, которые снова могут поляризоваться как целое; они снова распадаются, повторяя тот же самый цикл действий (1347).

1703. Однако, хотя частицы электролита и поляризуются как целое, тем не менее, как это вполне очевидно, совсем не безразлично, как именно частицы поляризуются (1689), потому что при свободном перемещении частиц (380 и т. д.) полярности в конечном итоге распределяются по элементам; эквивалентные этим полярностям и весьма определенные по характеру и величине количества сил как бы отделяются друг от друга и перемещаются вперед вместе с элементарными частицами. И хотя и

не претендую на знание того, что собой представляет атом, и каким образом он связан с электрической силой или наделяен ею, как располагается эта сила при соединении и разложении, тем не менее, я глубоко верю в то, что частицы, находящиеся под индуктивным действием, полярны; я основываю этот взгляд на общих действиях индукции — все равно, обыкновенной или электролитической; эта вера послужит мне, я надеюсь, извинением за несколько гипотетических рассуждений.

1704. При электролизе поляризованные частицы, повидимому, в силу постепенного изменения, происшедшего в химических, т. е. электрических силах их элементов (918), охотнее распадаются, чем разряжают друг друга без распада (1348), ибо если предотвратить их разделение, т. е. их разложение и воссоединение, переводением их в твердое состояние, то электричество, которое они будут изолировать, может быть в сто крат интенсивнее, чем то, которое необходимо для их электролиза (419 и т. д.). Отсюда напряжение, необходимое для непосредственной проводимости в таких телах, повидимому, значительно выше того, которое необходимо для разложения (419, 1164, 1344).

1705. Замечательное прекращение электролитической проводимости при переходе тела в твердое состояние (380, 1358) вполне согласуется с этими представлениями о зависимости этого процесса от полярности, которая присуща всем изолирующим веществам, когда они находятся под действием индукции, хотя в электролитах она и сопровождается такими своеобразными электрохимическими явлениями. Поэтому можно ожидать, что первоначальное действие индукции заключается в том, что она поляризует и располагает частицы воды таким образом, что положительный, или водородный полюс каждой направляется от положительного к отрицательному электроду, а отрицательный, или кислородный полюс каждой частицы располагается в противоположном направлении; и когда кислород и водород в частице воды разделяются, переходя к другим частицам кислорода и водорода и соединяясь с ними, то образовавшиеся новые частицы воды могут принять то положение, которое необходимо для

их успешной электролитической поляризации, не иначе как путем вращения. Переход в твердое состояние, закрепив частицы воды и не позволяя им принять это существенное предварительно положение, предотвращает также их электролиз (413), а таким образом предотвращается и описанный перенос сил (1347, 1703), и вещество ведет себя, как обыкновенный изолирующий диэлектрик (ибо на основании предыдущих опытов (419, 1704) ясно, что напряжение изоляции выше напряжения электролиза); проходящая через него индукция возрастает до более высокой степени, а полярное состояние молекул в целом, хотя и повышается в сильной мере, но все же прочно удерживается.

1706. Когда в жидком электролите происходит разложение, то вряд ли все молекулы в одной и той же плоскости сечения (1634) выделяют и передают наэлектризованные частицы или элементы одновременно. Вероятно, *разрядная сила* этой плоскости накапливается на одной или нескольких частицах, которые, разлагаясь, перемещаясь и воссоединяясь, восстанавливают равновесие сил приблизительно так, как это происходит при искровом разрывном разряде (1406); в самом деле, поскольку те молекулы, которые образовались из частиц, только что передававших силу, должны благодаря своему положению (1705) находиться в менее благоприятных условиях, чем другие, то должны иметься некоторые другие молекулы, находящиеся в особо благоприятных условиях, и они, подаваясь раньше других, на время понижают напряжение и производят разряд.

1707. В прежних исследованиях действия электричества (821 и т. д.) на многих удовлетворительных примерах было показано, что количество переносимой вперед электрической силы определено и пропорционально данному количеству вещества, продвигающемуся в виде аниона или катиона по линии электролитического действия; и имелись все основания полагать, что каждая из частиц взятого вещества связана с определенным количеством электрической силы, составляющим силу ее химического родства; при этом химический и электрохимический

эквиваленты представляют собой одно и то же (836). Было также показано, что за немногими исключениями, а теперь уже, пожалуй, можно сказать: без всяких исключений (1341), только сложные тела, содержащие элементы в отношениях один на один, могут (697) обнаруживать характерные черты и явления электролитов; окиси, хлориды и другие вещества, содержащие более одного эквивалента электроотрицательного элемента, отказываются разлагаться под влиянием электрического тока.

1708. Вероятные причины этих условий и ограничений выясняются из молекулярной теории индукции. Так, когда жидкий диэлектрик, как, например, хлорид олова, состоит из молекул, из которых каждая содержит по одной частице каждого элемента, то, поскольку эти частицы при своем разделении могут передавать в противоположных направлениях эквивалентные противоположные силы, в результате могут произойти как разложение, так и перенос; когда же молекулы, как в бихлориде олова, состоят из одной частицы или атома одного элемента и двух атомов другого, то предполагаемая простота расположения и действия этих частиц нарушается. Конечно, можно представить себе, что когда молекулы бихлорида олова поляризованы как целое действующей через них индукцией, то положительная полярная сила сосредоточивается на одной частице олова, а отрицательная оказывается на двух частицах связанного с ним хлора; можно вообразить, что частицы перемещаются соответственно направо и налево, чтобы соединиться с другими двумя частицами хлора и одной олова, подобно тому, как это происходит в соединениях, в которых один атом одного элемента приходится на один атом другого; но это совсем не так уже очевидно или вероятно. В самом деле, когда частица олова соединяется с двумя частицами хлора, то трудно представить себе, чтобы в получившейся молекуле не существовало некоторой связи между всеми тремя в виде определенного расположения, причем единственная частица металла, по всей вероятности, располагается симметрично относительно двух частиц хлора; легко видеть, что частицы такого рода не могут принять положение, обуславливаемое как их по-

лярностью, так и связью их элементов, которое, видимо, является первой ступенью в процессе электролиза (1345, 1705).

РАЗДЕЛ 21

Связь между электрической и магнитной силами

1709. Я высказывал ранее несколько соображений относительно возможной связи между магнетизмом как поперечной силой тока и расходящейся, или поперечной силой линий индуктивного действия, присущими статическому электричеству (1658 и т. д.).

1710. При дальнейшем рассмотрении этого вопроса мне представлялось чрезвычайно важным, по возможности, установить, как распространяется на расстояние это боковое действие, которое мы называем магнетизмом или, иногда, индукцией электрических токов (26, 1048 и т. д.): посредством действия *промежуточных частиц*, аналогично индукции статического электричества, т. е. посредством разнообразных, обусловленных этой индукцией действий, как проводимость, разряд и т. п., или, наоборот, его влияние на некотором расстоянии совершенно не зависит от таких промежуточных частиц (1662).

1711. Я располагал две магнито-электрические спирали с железными сердечниками одну за другой, но оставлял между ними промежуток в один и три четверти дюйма; в этот промежуток я помещал конец, или полюс, полосового магнита. Очевидно, что при перемещении этого магнитного полюса от одного сердечника к другому в обеих спиралях стремится возникнуть ток: в одной — вследствие ослабления, а в другой — вследствие усиления магнетизма, индуцируемого в соответственном сердечнике мягкого железа. Спирали были соединены друг с другом, а также с гальванометром таким образом, чтобы оба тока совпадали по направлению и отклоняли стрелку прибора соединенными усилиями. Вся установка была весьма эффективна и чувствительна, и достаточно было перемещать магнитный полюс примерно на одну восьмую дюйма

взад и вперед два-три раза с периодом, соответствующим колебаниям стрелки гальванометра, чтобы вызвать значительные отклонения последней; таким образом легко было показать результат усиления влияния магнита на один сердечник и спираль и ослабления его на другой.

1712. Затем, не изменяя расстояния между магнитом и сердечниками, я вводил между ними пластинки различных веществ. Обозначим сердечники через A и B ; между магнитным полюсом и A вводилась пластинка из шеллака — вводилась на промежуток времени, соответствующий качанию стрелки в одну сторону; затем на время, соответствующее обратному качанию, я вынимал пластинку, снова вводил на другой такой же промежуток времени, вынимал еще на один период и так далее, до восьми — девяти раз; однако не наблюдалось ни малейшего действия на стрелку. В другом ряде опытов положение пластинки поочередно менялось, т. е. на один период времени я вводил ее между магнитом и A , вынимал и вводил между магнитом и B на второй промежуток времени, вынимал и возвращал на первоначальное место на третий период, и так далее; но никакого действия на стрелку не было.

1713. В этих опытах я испытывал *шеллак* в пластинках толщиной в 0,9 дюйма, *серу* в виде пластинки толщиной в 0,9 дюйма и *медь* в виде пластинки толщиной в 0,7 дюйма, но без всякого заметного действия, и я прихожу к заключению, что тела, представляющие крайние противоположности в смысле проводимости и изолирующей способности и настолько сильно отличные друг от друга, как металлы, воздух и сера, будучи помещены на линиях их действия, не обнаруживают различия по отношению к магнитным силам, по крайней мере при вышеописанных условиях.

1714. Пластинка из железа или просто небольшой кусок этого металла, вроде шляпки гвоздя, производила совершенно иное действие, ибо в этом случае сейчас же обнаруживалось, насколько чувствителен гальванометр, и насколько совершенна вся установка.

1715. Я расположил приборы так, чтобы прилегающая к краю часть медной пластинки, толщиной в 0,2 дюйма и в десять дюймов диаметром, приходилась между магнитом и сердечником; в этом положении я ее поочередно то быстро вращал, то держал неподвижно в течение периодов времени, соответствующих колебаниям стрелки; однако ни малейшего действия на гальванометр не получалось.

1716. Таким же образом я располагал пластинку из шеллака, толщиной в 0,6 дюйма; она не производила никакого действия — все равно, вращалась она или нет.

1717. Иногда плоскость вращения располагалась нормально к магнитной кривой, в других случаях я ставил ее насколько возможно наклонно; направление вращения в отдельных опытах также менялось, но ни малейшего действия это не производило.

1718. После этого спирали и их железные сердечники заменялись двумя намотанными на картон плоскими спиралями; каждая содержала по сорок два фута медного покрытого шелковой оплеткой провода, без железных сердечников. В остальном установка была та же, что раньше; она была чрезвычайно чувствительна; от весьма слабого перемещения магнита между спиралями получалось значительное колебание стрелки гальванометра.

1719. Введение в промежутки между магнитом и спиралями (1713) пластин из шеллака, серы или меди не производило ни малейшего действия — безразлично, стояли они неподвижно или совершали быстрое вращение (1715). Таким образом здесь не удавалось обнаружить никакого влияния промежуточных частиц (1710).

1720. Затем магнит был вынут и заменен плоской спиралью, сходной с двумя первыми; все три ставились параллельно друг другу. Средняя спираль была установлена таким образом, что через нее можно было по желанию пропускать гальванический ток. Прежний гальванометр был устранен, а на его место был поставлен гальванометр с двумя катушками, причем одна из боковых спиралей была присоединена к одной катушке, а другая — к другой, так что при пропускании гальванического тока через

среднюю спираль индуктивное действие (26) ее на боковые спирали вызывало в них токи, направленные в катушках гальванометра один против другого. Слегка меняя расстояния, эти индуцированные токи можно было в точности уравнивать, и стрелка гальванометра оставалась неподвижной, несмотря на то, что через прибор неоднократно пропускались токи. Я буду обозначать среднюю спираль через *C*, а крайние — через *A* и *B*.

1721. Расстояние между спиралями *C* и *B* оставлялось неизменным; между ними помещалась медная пластина толщиной в 0,7 дюйма и площадью в шесть квадратных дюймов, а затем через спираль *C* пропускался гальванический ток от двадцати пар четырехдюймовых пластин; ток прерывался с таким периодом, чтобы произвести отклонение гальванометра (1712), как только в действии *C* на *A* и *B* появится какая-либо разница. Однако, несмотря на то, что в одном промежутке находился воздух, а в другом медь, индуктивное действие на обе спирали было в точности одинаково, и при том такое, как если бы оба промежутка были заняты воздухом. Таким образом, несмотря на то, что в толстой медной пластине легко мог бы образоваться любой индуцированный ток, центральная спираль *C* на расположенную за пластинкой спираль влияла точно так же, как если бы между ними никакого проводника, вроде меди, не было (65).

1722. Затем медная пластинка была заменена пластинкой из серы, толщиной в 0,9 дюйма; результаты попрежнему получились точно такие же, т. е. действия на гальванометр не было.

1723. Значит, когда гальванический ток в одном проводе проявляет свое индуктивное действие, создавая противоположный или такой же одинаково направленный ток в соседнем проводе, соответственно тому, возникает или прекращается первичный ток, тогда, повидимому, не обнаруживается ни малейшей разницы от того, что промежуточное пространство заполнено такими изолирующими веществами, как воздух, сера и шеллак, или такими проводящими телами, как медь и другие немагнитные металлы.

1724. Соответствующее действие получалось при помощи таких же сил, проявляющихся в магните, следующим образом. Одна плоская спираль (1718) была соединена с гальванометром, а вблизи нее был помещен магнитный полюс; если затем перемещать магнит по направлению к спирали или от нее или перемещать спираль к магниту и от магнита, то получают токи, обнаруживаемые гальванометром.

1725. После этого между магнитом и спиралью была проложена толстая медная пластина (1721); тем не менее, при движении их туда и обратно получались точно такие же действия как по величине, так и по направлению, как если бы меди не было. Введением в этот промежуток пластины из серы также не удавалось получить ни малейшего влияния на токи, производившиеся перемещением магнита или спиралей.

1726. Эти результаты, а равно целый ряд других, которых я не считаю нужным описывать, могли бы привести к заключению, что (если судить по *величине* действия, производимого на расстоянии силами, поперечными по отношению к электрическому току, т. е. магнитными) промежуточное вещество, а значит и промежуточные частицы не имеют ничего общего с этим явлением; или, другими словами, что в то время как индуктивная сила статического электричества передается на расстояние посредством промежуточных частиц (1164, 1666), поперечная индуктивная сила токов, которая также может действовать на расстояние, передается не таким путем, т. е. не с помощью промежуточных частиц.

1727. Однако вполне очевидно, что подобное заключение нельзя считать доказанным. Так, нам известно, что когда между полюсом и спиралью (1715, 1719, 1725) или между двумя спиральями (1721) находится медная пластинка, то ее частицы испытывают некоторое воздействие и могут посредством соответствующего устройства проявить особое состояние, в котором они находятся, производя или электрические или магнитные действия. Повидимому, невозможно думать, что это действие на частицы промежуточного вещества не связано с действием, производимым

индуцирующей спиралью или магнитом C на подвергаемую индукции катушку или сердечник A (1715, 1721); в самом деле, так как индуцируемое тело поддается влиянию индуцирующего тела одинаково, независимо от того, присутствуют или нет эти промежуточные и испытывающие воздействие частицы меди (1723, 1725), то указанное предположение означало бы, что возбужденные таким образом частицы не оказывают обратного действия на вызывающие их индуцирующие силы. Мне поэтому кажется более разумным заключение, что этим возбужденным частицам обязано распространение действия от индуцирующего к индуцируемому телу, и что именно этой передачей обусловлено *отсутствие потерь* индуцируемой силы у последнего.

1728. Но в таком случае возникает вопрос, каково взаимоотношение частиц изолирующих веществ, как воздух, сера или шеллак, когда они находятся на линии магнитного действия. Ответ в настоящий момент может быть только гадательным. Я долго полагал, что у таких тел должно существовать особое состояние, соответствующее тому, которое обуславливает токи в металлах и других проводниках (26, 53, 191, 201, 213); и если принять во внимание, что эти тела являются изоляторами, то следовало бы ожидать, что это состояние есть состояние напряжения. Вращая непроводящие тела вблизи магнитных полюсов, или полюсы вблизи них, или внезапно создавая и прекращая сильные электрические токи в различных направлениях вокруг и около изоляторов, я пытался обнаружить нечто в роде такого состояния, но это мне не удалось. Тем не менее, поскольку вследствие слабого напряжения применяющихся для его возбуждения токов всякое такое состояние должно обладать чрезвычайно низкой интенсивностью, весьма возможно, что оно все же существует и может быть открыто более искусным экспериментатором, но мне лично обнаружить такое состояние не удалось.

1729. Мне поэтому представляется возможным, и даже вероятным, что магнитное действие может передаваться на расстояние при посредстве промежуточных частиц, наподобие того, как передаются на расстояние индуктивные силы статического

электричества (1677), причем промежуточные частицы на время в большей или меньшей степени воспринимают особое состояние, которое (хотя я имел о нем очень неопределенное представление) я неоднократно называл термином *электротоническое состояние* (60, 242, 1114, 1661). Надеюсь, никто не поймет меня так, будто я твердо убежден, что дело обстоит именно таким образом. На самом деле я скорее хотел бы доказать обратное, а именно, что магнитные силы совершенно независимы от промежуточного вещества между индуцирующим и индуцируемым телами; но я не могу преодолеть затруднения, которое представляют такие вещества, как медь, серебро, свинец, золото, уголь и даже водные растворы (201, 213), которые, хотя и приходят, как известно, в особое состояние, когда находятся между действующими и подвергающимися действию телами (1727), но влияют на окончательный результат не больше, чем те тела, в которых до сих пор не было открыто никаких особенностей их состояния.

1730. Здесь надо сделать существенное для всего этого исследования замечание. Хотя я полагаю, что описанный мною гальванометр, которым я пользовался (1711, 1720), является вполне достаточным, чтобы доказать, что окончательная величина действия на каждую из двух спиралей или сердечников *A* и *B* (1713, 1719) одинакова, но все же имеется одно явление, которое *может* получиться при различии в действии двух промежуточных веществ, и которого гальванометр не был бы в состоянии обнаружить. Поскольку в этих действиях ¹ играет роль время (125), весьма возможно, что хотя индуцируемые действия на спирали или сердечники *A* и *B* и достигают одинаковой степени, когда в качестве промежуточных веществ друг другу противопоставляются воздух и медь или воздух и шеллак, это совершается в неодинаковые промежутки времени; однако вследствие длительности времени, занимаемого колебанием стрелки, это различие может оставаться незаметным, так как оба действия, может быть, достигают своих наибольших значений за столь ко-

¹ См. *Annales de Chimie*, 1833, LI, стр. 422, 438.

роткие периоды времени, что последние составляют совершенно незаметную долю того времени, которое требуется для колебаний стрелки, и потому влияние, которое они на них оказывают, незаметно.

1731. Если бы удалось доказать, что боковая или поперечная сила электрических токов, или — что, повидимому, то же самое — магнитная сила проявляет свое влияние на расстоянии, независимо от промежуточных смежных частиц, то этим, как мне кажется, между природой этих двух сил (1654, 1664) было бы установлено чрезвычайно важное реальное различие. Я не подразумеваю под этим, что эти силы независимы друг от друга и могут действовать раздельно; наоборот, они, вероятно, существенно связаны (1654), но отсюда никоим образом не следует, что они обладают одинаковой природой. В обыкновенной статической индукции, в проводимости и в электролизе силы у противоположных концов частиц, совпадающие с линиями действия и обычно обозначаемые термином электрические, являются полярными, и в случае смежных частиц действуют только на неощутимо малых расстояниях; в то же время силы, которые перпендикулярны к направлению этих линий и называются магнитными, являются круговыми, действуют на расстоянии и, если это осуществляется не через посредство промежуточных частиц, то отношение магнитных сил к обычному веществу совершенно не похоже на отношение к нему электрических сил, с которыми они связаны.

1732. Было бы чрезвычайно важно решить вопрос о том, тождественны ли или различны силы этих двух видов, и установить их истинное взаимоотношение. Этот вопрос, повидимому, вполне доступен опыту и сулит богатую награду тому, кто попытается его разрешить.

1733. Я уже выражал надежду найти такие явления или такое состояние, которые будут для статического электричества тем же, чем является магнитная сила для текущего электричества (1658). Если бы мне удалось убедительно для самого себя доказать,

что магнитные силы распространяют свое влияние на расстоянии путем совокупного действия промежуточных частиц, наподобие того, как это производят электрические силы, то я бы мог думать, что таким состоянием, соответствующим статическому электричеству, является боковое напряжение линий индуктивного действия (1659) или то состояние, о котором неоднократно упоминалось, как об электротоническом (1661, 1662).

1734. Можно бы сказать, что состояние, когда *отсутствует боковое действие*, является для статической или индуктивной силы эквивалентом того, что *магнетизм* представляет для текущей силы; но утверждать это возможно только в том случае, если считать электрические и магнитные действия существенно различными по природе (1664). Если они представляют собой одну и ту же силу, а все разнообразие результатов является следствием различия в *направлении*, тогда нормальное или *неразвившееся* состояние электрической силы будет соответствовать *отсутствию бокового действия* в магнитном состоянии силы, а электрический ток будет соответствовать боковым явлениям, обычно называемым магнетизмом; но состояние статической индукции, лежащее между нормальным состоянием и током, все еще будет требовать соответствующего бокового действия в магнитном ряду, которое будет представлять присущие ему особые явления; в самом деле, едва ли можно предположить, чтобы как нормальное электрическое, так и индуктивное или поляризованное состояние могли обладать одними и теми же боковыми свойствами. Если же магнетизм представляет собой отдельное и более высокое проявление развившихся сил, то довод, говорящий в пользу этого третьего состояния данной силы, может оказаться не таким веским.

1735. Прежде чем закончить эти общие замечания относительно связи электрических и магнитных сил, я должен выразить свое удивление по поводу результатов, полученных с медной пластинкой (1721, 1725). Опыты с плоскими спиралями представляют собой один из простейших случаев индукции электрических токов (1720); это действие, как общеизвестно, состоит в появле-

нии кратковременного тока в проводе в тот момент, когда сквозь соседний параллельный провод начинает проходить ток противоположного направления, и в возникновении столь же краткого тока в противоположном направлении в момент прекращения определяющего тока (26). При таких условиях представляется весьма необыкновенным, что индуцированный ток, который возникает в спирали *A*, когда между *A* и *C* имеется только воздух (1720), столь же силен, когда этот воздух заменяется огромной массой такого прекрасно проводящего металла, какова медь (1721). Можно было бы ожидать, что эта масса может допустить в себе образование и разряд практически какого угодно количества токов, которые способна индуцировать спираль *C*, и таким образом несколько ослабит, а может быть и совсем предотвратит действие в *A*; вместо этого ни малейшего ослабления или изменения действия в *A* не замечается (65), хотя едва ли можно сомневаться в том, что в медной пластине образуется бесконечное число мгновенных токов. Мне кажется, почти единственный способ примирить это явление с общепринятыми представлениями заключается в предположении, что магнитное действие передается при посредстве промежуточных частиц (1729, 1733).

1736. Такое весьма замечательное положение вещей полностью согласуется с действиями, наблюдающимися в сплошных спиралях, в которых провода намотаны одни на другие в количестве пяти, шести или более последовательных слоев; при этом внутренние слои не вызывают никакого ослабления действия во внешних.

РАЗДЕЛ 22

Замечание об электрическом возбуждении

1737. Едва ли можно сомневаться в том, что различные способы, которыми производится электрическое возбуждение, рано или поздно будут сведены к одному общему закону, хотя в настоящее время мы и вынуждены делать между ними различия. Когда мы не то, что устраним эти различия, а хотя бы ясно поймем их, то уже и это будет большим достижением.

1738. Вследствие тесной связи между электрической и химической силами химический способ возбуждения оказывается наиболее поучительным из всех, а случай двух изолированных соединяющихся частиц является, вероятно, простейшим из тех, которые имеются в нашем распоряжении. Здесь, однако, действие является местным, и нам все еще не хватает такого электрического способа его поверки, который был бы применим к нему, а равно к случаю тока электричества и к случаю статической индукции. Когда некоторые из действующих частиц первоначально находятся в состоянии соединения (923), мы каждый раз получаем возможность, как, например, в гальваническом элементе, распространить местное действие или превратить его в ток, и тогда химическое действие можно проследить в его изменениях вплоть до образования *всех* явлений напряжения и статического состояния, причем последние во всех отношениях оказываются такими же, как если бы производящие их электрические силы были получены с помощью трения.

1739. Кажется, Берцелиус первый говорил о способности некоторых частиц приходить в присутствии друг друга (959) в противоположные состояния. Можно предположить, что интенсивность этих состояний усиливается при большом приближении или вследствие нагревания и т. п., и, наконец, в некоторый момент возникает соединение, сопровождаемое таким взаимным распределением сил обеих частиц, которое эквивалентно разряду, и создает в то же время частицу, во всей своей массе являющуюся проводником (1700).

1740. Эта способность приходить в возбужденное электрическое состояние (которое в частицах, образующих непроводящее вещество, является, вероятно, полярным) представляется мне первичным фактом, сходным по своей природе с индукцией (1162); ибо эти частицы, повидимому, не способны сохранять свое особое состояние независимо друг от друга (1177) или от вещества, находящегося в противоположном состоянии. Вполне определенным по отношению к частицам вещества представляется лишь то, что они приходят в *особое* состояние, как, например, положи-

тельное или отрицательное, в зависимости друг от друга, а не безразлично в то или другое; а также то, что силы растут лишь до определенной величины.

1741. Легко понять, что та самая сила, которая вызывает местное действие между двумя свободными частицами, будет проявляться в виде текущей силы, когда одна из частиц находилась предварительно в соединении, составляя часть электролита (923, 1738). Так, в присутствии друг друга частица цинка и частица кислорода проявляют свои индуктивные силы (1740), которые, в конце концов, достигают той точки, когда образуется соединение. Если кислород предварительно был в соединении с водородом, то он удерживается в таком соединении аналогичным проявлением и расположением сил; поскольку же силы кислорода и водорода во время соединения находятся в взаимной связи и сродстве друг с другом, то когда вступает в силу более высокое сродство этих сил между кислородом и цинком, индукция первого, или кислорода, на металл не может быть вызвана или усилена без соответствующего ослабления его индукции по отношению к водороду, с которым он находится в соединении (ибо величина силы в частице считается определенной); поэтому сила последнего направляется на кислород соседней частицы воды; можно думать, что таким образом действие распространяется на заметные расстояния и превращается в состояние статической индукции, которое, если его разряжать, а затем устранять действием других частиц, производит токи.

1742. В обыкновенной гальванической батарее ток вызывается стремлением цинка отнять кислород от водорода воды, причем эффективное действие происходит в том месте, где кислород покидает существовавший ранее электролит. Шенбейн (Schoenbein) соорудил батарею, в которой эффективное действие происходит на другом конце этой существенной части системы, а именно там, где кислород подходит к электролиту.¹ Первое можно

¹ Philosophical Magazine, 1838, XII, стр. 225, 315. См. также результаты, полученные де ля Ривом для перекиси марганца. Annales de Chimie, LXI, стр. 40. Дек. 1838 г.

рассматривать как случай, когда движение тока образуется в результате отнятия кислорода от водорода, а последнее — когда он образуется вследствие отнятия водорода от кислорода. Направление электрического тока в обоих случаях одно и то же, если относить его к тому направлению, в котором движутся элементарные частицы электролита (923, 962), и оба случая одинаково согласуются с только что изложенным гипотетическим представлением об индуктивном действии частиц (1740).

1743. При таком взгляде на гальваническое возбуждение действие частиц можно разделить на две части: то, которое возникает, когда сила в частице кислорода возрастает в направлении действующей на нее частицы цинка и уменьшается в направлении связанной с ней частицы водорода (что представляет собой период развития индуктивного действия), и то, которое возникает, когда имеет место обмен связями и частица кислорода покидает водород, чтобы соединиться с цинком. Создает ток, повидимому, первое действие; в отсутствии же тока он образует напряжение на зажимах батареи; последнее, останавливая на время влияние бывших активными частиц, позволяет вступить в действие другим частицам; таким образом явление тока продолжается далее.

1744. Представляется весьма вероятным, что возбуждение трением очень часто может носить такой же характер. Волластон пытался отнести такое возбуждение за счет химического действия,¹ но если под химическим действием понимать окончательное соединение действующих частиц, то имеется множество случаев, противоречащих такому взгляду. Дэви упоминает о некоторых таких примерах, а я с своей стороны без затруднений допускаю другие способы электрического возбуждения, помимо химического действия, особенно если под химическим действием подразумевать окончательное соединение частиц.

1745. Дэви путем опытов доказал, что две частицы, обладающие противоположными химическими свойствами, могут приходить в противоположные состояния, если подвести их очень близко

¹ *Philosophical Transactions*, 1801, стр. 427.

друг к другу, но не позволять им соединяться.¹ Я думаю, что в этом заключается первая часть описанного выше действия (1743), но, с моей точки зрения, оно может вызвать непрерывный ток только в том случае, если будет происходить соединение так, чтобы и другие частицы последовательно могли действовать таким же образом, и то только при условии, что некоторый ряд частиц будет присутствовать в качестве элемента электролита (923, 963), другими словами: один только контакт без химического действия в таких случаях *тока* не создает.

1746. Тем не менее, представляется весьма возможным, что такое расположение может создать высокий заряд и таким образом дать начало электризации путем трения. При трении двух тел друг о друга, с целью получить обычным путем электричество, по крайней мере одно из тел должно быть изолятором. В процессе трения частицы противоположного рода должны подходить более или менее близко друг к другу, причем немногие из них, которые находятся в наиболее благоприятных условиях, приходят в такой тесный контакт, который почти не отличается от контакта, получающегося при химическом соединении. В такие моменты частицы, вследствие взаимной индукции (1740) и частичного взаимного разряда, могут приходиться в весьма напряженные противоположные состояния; и когда непосредственно после этого они благодаря продолжающемуся трению удаляются друг от друга, то они удерживаются в этом состоянии, если оба тела являются изоляторами, и обнаруживают его после полного их разделения.

1747. Мне кажется, что все сопровождающие трение обстоятельства говорят в пользу такого представления. Вследствие неправильностей формы и неравномерности давления частицы двух трущихся поверхностей оказываются на весьма различных расстояниях, и только немногие из них находятся одновременно в той тесной связи, которая, вероятно, необходима для развития сил; далее, те, которые в определенный момент находятся ближе

¹ Philosophical Transactions, 1807, стр. 34.

всего друг к другу, в следующий за этим момент оказываются наиболее удаленными друг от друга, а другие окажутся сближенными; таким образом при продолжении трения могут одна за другой оказаться возбужденными многие частицы. Наконец, боковое направление разделения (поверхностей) при трении представляется мне особенно приспособленным к тому, чтобы большое количество парных частиц сначала привести в ту тесную близость, которая необходима для приведения их во взаимно противоположные состояния, а затем удалить от влияния друг на друга, причем это состояние сохраняется.

1748. На основе такого же представления легко было бы гипотетически объяснить, каким образом в том случае, когда одно из трущихся тел является проводником (как, например, амальгама электрической машины), состояние другого (в массе) повышается при трении; однако было бы неразумно заходить слишком далеко в таких рассуждениях, прежде чем выдвинутые ранее положения будут подтверждены или исправлены на основании соответствующих опытных данных. Я не хочу создать впечатления, что всякое возбуждение трением считаю возбуждением такого рода; наоборот, некоторые опыты заставляют меня думать, что во многих, — а может быть и во всех, — случаях к окончательному результату приводят действия термо-электрического характера; по всей вероятности одновременно действуют и другие оставшиеся до сих пор невыясненными причины электрического возмущения.

Королевский институт,

Июнь 1838 г.

П Р И Л О Ж Е Н И Е



М. ФАРАДЕЙ И ЕГО „ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ“



Этой гениальной книге более ста лет. Если даже ничего не знать о науке того времени, то она, эта книга, сама даст о ней яркое и полное представление; она сама покажет, какой огромный шаг вперед знаменуют труды ее автора, и особенно выпукло представит тот почти необъятный для человеческого ума сдвиг, который наука и техника проделали за этот короткий в истории человечества срок.

В самом деле, что представляет собой ученье об электричестве сто лет тому назад?

Оно состоит из нескольких изолированных друг от друга глав, и еще идет спор о том, действительно ли эти отдельные главы говорят об одном и том же предмете. Есть, во-первых, статическое электричество; это пока самое знакомое, «обыкновенное», по терминологии Фарадея, электричество. Во-вторых, электричество «гальваническое», или «вольтаическое». Оно открыто уже пятьдесят лет, и его исследование — одна из самых насущных задач того времени. Потом термоэлектричество, недавно (в 1822 г.) открытое Зеебеком; животное электричество, которому уделяется еще немало внимания; многие знаменитые современники Фарадея посвящают ему свои труды (сэр Гемфри Дэви, его брат д-р Дэви, А. фон Гумбольдт и др.). И, наконец, М. Фарадей прибавляет сюда свое индукционное, или «магнито-электричество».

Мы со школьных времен воспитываемся в убеждении, что имеем здесь различные проявления одного и того же агента; нам и в голову не приходит сомневаться в его тождественности. Но во времена Фарадея только еще идет объединительная работа, и ему самому приходится посвящать целую серию своих «Исследований» доказательству этой тождественности и выяснению количественных различий в разных случаях; свои труды в этом направлении он расценивал наравне с обессмертившими его имя трудами по электролизу, диэлектрическим свойствам тел, электромагнитной индукции.

Основная терминология учения об электричестве еще не установлена. Вместо «заряда» сплошь и рядом говорится о «силе», вместо «силы тока» — о «количестве». Еще хуже обстоит дело с потенциалом. Фарадей пишет (построчное примечание к п. 360): «термин *количество* является для электричества, пожалуй, достаточно определенным; термин *напряжение* поддается точному определению гораздо труднее; я пользуюсь этими терминами в их обычном и общепринятом смысле». И больше во всей книге ни одного слова для определения потенциала и разности потенциалов, электродвижущей силы.¹ Для источника электродвижущей силы в одной из серий упорно применяется термин «электромотор», звучащий для нас в этом значении прямо дико. Северный полюс здесь «полюс с меткой», заземление — «разряжающий провод» и т. д.

Но дело не только в терминологии: не существует еще закона Ома,² нет ясного представления о связи между силой тока, электродвижущей силой и сопротивлением. Единственный способ характеризовать явления в цепи — подробно описать батарею, количество элементов, их размер, состав и состояние жидкости в них; длину, диаметр и материал проводов. Такими длинными

¹ Впрочем, в п. 1299 Фарадей пытается дать другое (и притом совершенно неправильное) определение «напряжения».

² Вернее, он уже написан (в 1826 г), но еще не освоен как один из важнейших электротехнических законов.

и утомительными описаниями переполнено изложение самих изумительных опытов Фарадея.

Нет и никаких электротехнических единиц; во всей книге нет ни одного количественного указания, не названо ни одной силы тока, ни одного сопротивления, ни одной электродвижущей силы. Пока еще не существует — даже ни в чьей мысли — никаких практических приложений электричества. А потому никому не приходит в голову снабжать ученых, занимающихся опытами по электричеству в своих лабораториях, электротехническими материалами. Такие материалы нигде и никем не производятся. Нет клемм, изоляторов, размыкателей, нет изолированных проводов. Фарадей описывает, как он сам готовит для себя такой провод, обертывая проволоку бумагой и шелком, как, изготавливая катушку, он отделяет последовательные слои обмотки друг от друга коленкором и т. п. (см., например, пп. 6, 1053 и многие другие).

Не побуждаемое техническими запросами, находится в первобытном состоянии производство электроизмерительных приборов. Фарадей сам готовит свои электрометры (по Кулону) и гальванометры. Гальванометр Ритчи со стеклянной нитью он считает верхом достижимого совершенства (368, примечание). Становится как-то стыдно за те бесконечные требования, которые мы не устаем предъявлять к нашим современным инструментам. Чувствительность гальванометра количественно не характеризуется — он просто «грубый» или «чувствительный». Но что гальванометр! Повидимому, в те годы он является еще слишком новым прибором; прибегая к нему, все же не бросают и старых способов обнаружения электрического тока: нагреванием тонкой проволоки, химическим разложением, искоркой, миниатюрной дугой на древесном угле, пробой на вкус (!) и классическим опытом содрогания лягушечьих лапок (см., например, п. 56, всю третью серию и многократно в других местах).

Конечно, существует еще менее побудительных причин, чтобы подумать о стандартизации материалов. Каких только размеров не встречается у Фарадея! Провода имеют диаметр

в $\frac{1}{600}$, $\frac{1}{202}$, $\frac{1}{18}$ дюйма и т. д. до бесконечности. Десятичные дроби «не в моде». О метрической системе никакого помину; мили, ярды, футы, дюймы, линии; квадратные и кубические футы, дюймы; фунты, унции, граны; пинты, — страшно подумать, сколько времени гениальный естествоиспытатель должен был тратить на совершенно ненужные умножения и деления!

Закона Джоуля еще не существует. Фарадей ощупью бредит вокруг вопроса о нагревательном действии тока; он думает, основываясь на опытах Гарриса, что определенный заряд, независимо от напряжения, несет с собой и определенное количество тепла (368).

И, наконец, еще не найден человечеством, не сформулирован тремя его гениальными провозвестниками — Майером, Джоулем и Гельмгольцем — закон сохранения энергии, ставший таким могучим орудием мысли и исследования. Напомним, с какой элементарной простотой Гельмгольц выводит — точно и количественно — закон электромагнитной индукции. Фарадей дожид до этого открытия, но оно ничем не помогло ему в его трудах и исследованиях; круг мыслей, порождаемых этим великим законом, остался ему до конца чуждым.¹

Вот обстановка научной работы Фарадея. Ее описание было бы неполным, если бы мы не добавили несколько слов о современниках, с которыми он общался и труды которых на него оказали то или иное влияние. Чтобы судить об этом, обратимся к первоисточнику — к самой книге Фарадея; посмотрим, какие имена в ней чаще всего упоминаются.

На первом месте тут стоит сэр Гемфри Дэви. Это вполне понятно; в первые годы своей научной работы Фарадей был его сотрудником, можно сказать, учеником, и хотя этот случай

¹ Было бы неправильно объяснять такое отношение особенностями мышления или образования Фарадея; кто хочет убедиться в противоположном, пусть прочтет письма У. Томсона (лорда Кельвина), которые заполнены мучительными усилиями согласовать открытие Джоуля... с законом сохранения вещества и «теплорода».



Михаил Фарадей
Репродукция с портрета Т. Филипса

принадлежит к числу тех, когда ученик далеко превзошел своего учителя, все же естественно, что круг мыслей учителя и собранные им факты особенно запечатлеваются в голове ученика и служат материалом для его дальнейших построений. К тому же Фарадей продолжает работать в области электрохимии, в которой помогал сэру Гемфри. Как можно было работать в той же области, не ссылаясь на его труды? — На втором месте стоит Гаррис. Кто такой Гаррис? История сохранила для потомства только немногие его труды. Из упоминаний Фарадея видно, что он занимался повторением опыта Араго с вращающимся диском; исследовал тепловое действие электростатического разряда и открыл при этом некоторое сомнительное правило, которым современники должны были пользоваться за неимением лучшего (368); устроил удобный «электрометр», основанный на упомянутом тепловом действии. Его труды печатались в *Philosophical Transactions*, чего удостоиваются далеко не все ученые; Фарадей называет его «неутомимым ученым» и «имеет полное убеждение в точности» его результатов (1305); он считает непревзойденными его исследования по диэлектрической прочности газов (1363); короче, труды Гарриса не составляли эпохи, но были нужны современникам как полезный и доброкачественный материал. Этим и объясняется интерес Фарадея к их автору.

Только отдаленное потомство расценивает по достоинству труды своих предшественников; история, как на дне промывательной машины, сохраняет немногие крупинки золота — достижения первостепенной важности и вечного значения. Все остальное ее бурный поток уносит — и факты, и имена, и даты. Да будет среднему ученому утешением, что он, подобно Гаррису, помогает своими малыми делами трудам какого-нибудь другого Фарадея!

Рядом с Гаррисом стоит по числу ссылок на него де ля Рив (Огюст). Про него можно сказать почти то же, что и про Гарриса; плодовитый ученый, добросовестный исследователь, собиратель небезинтересных фактов, но слабый как создатель теории.

Фарадей охотно пользуется его фактическими указаниями (исключительно в области электролиза), а теории беспощадно критикует.¹

Дальше рядом стоят Араго и Ампер. Это, конечно, представители вершины науки того времени. Первый — блестящий оратор, непрменный секретарь Парижской Академии, в одинаковой мере астроном и физик. Он вел огромную корреспонденцию и был в курсе всех научных работ своего времени. Но Фарадея он интересуется только как автор одного электродинамического опыта — увлечение магнитом, при его вращении, расположенного рядом диска.

Ампер — один из величайших электриков, создатель электродинамики. Фарадей, несомненно, хорошо знал его труды, и они оказали на него очень сильное влияние. Терминология Фарадея иногда очень приближается к амперовской. Можно сказать, что и по духу эти два ученых близки друг к другу; только Ампер не чуждается математического анализа. Фарадей часто ссылается еще на Волластона.² Это тоже очень крупная фигура; глубокие следы Волластон оставил в области химии, где ему принадлежит точная формулировка принципа кратных отношений. Фарадея интересуют только те опыты этого ученого, которые касаются электрохимических разложений; ими Волластон доказывал тождественность «обыкновенного» и «гальванического» электричества, к чему Фарадей охотно присоединяется.

Указанные шесть лиц дают Фарадею материал более чем для трети его цитат и ссылок; остальные две трети (без малого) приходится почти на сто, точнее на девяносто шесть других имен. Кто эти лица?

¹ Де ля Ривы — целая «династия» женевских ученых. Один из них, физик, получил некоторую известность на ранних стадиях развития электромагнитной теории Максвелла — Герца: вместе Саразеном от открыл явление так называемого «множественного резонанса» при быстро затухающих первичных колебаниях.

² О роли Волластона в личной жизни Фарадея см., например, его биографию, составленную М. Радовским.

Конечно, мы встретим здесь много имен, которые и ныне мелькают на страницах наших курсов и учебников. Знаменитейшие среди них: Берцелиус — создатель электрической теории сродства, химик огромной величины и значения; даже там, где Фарадей не называет его, он часто цитирует его мнение и держится его; Дальтон — химик не меньшей величины, знаменитый атомист (Фарадей — противник атомизма; может быть, потому он так мало его цитирует); Гей-Люссак, Грэм, А. фон Гумбольдт, Эрстед, Френель (не всем известно, что Френель занимался электрическими вопросами); Пуассон — Фарадей цитирует только физические его высказывания, Ом — Фарадей ошибочно называет его Омсом (!) и сознается, что не читал его в подлиннике (1635, примечание). Менее знамениты, но все же известны: Барлоу («колесо Барлоу»); Био — предшественник Френеля по исследованию поляризации, он же соавтор известного закона Био и Савара; «старый» Беккерель — дед нашего современника, открывшего радиоактивность; Каньяр де ла Тур (кто не знает его сирены, его исследований в области критического состояния?); Даниэль (элемент Даниэля, гигрометр Даниэля — камень преткновения на студенческих экзаменах); Доберейнер (огниво Доберейнера); Дюлонг; Гротгус — русский помещик, на досуге занимавшийся физикой и додумавшийся до почти гениальных представлений об электролизе; Генри, Лесли (куб Лесли), Моссотти, Нобили, Пельтье, Шенбейн, Зеебек, Уитстон; опыты последнего над скоростью распространения электричества цитирует еще Дж. Дж. Томсон (1893 г.).

Наряду с этим — много, много имен, которые вспоминаются с трудом или вовсе не приходят на память.

Все они нужны Фарадею постольку, поскольку дают материал для его рассуждений и заключений по вопросам электричества. Он был наравне с лучшими из них — Ампером, Араго, Берцелиусом, Волластоном, Гей-Люссаком, Гротгусом, Грэмом, Дальтоном, Дэви, Уитстоном, Эрстедом и бесконечно выше всех других. С первыми он мог на равных правах обмениваться опытом и мнениями; остальные — только сырой материал для возведен-

ного им величественного здания, цемент, скреплявший его кирпичи.

Интересно также отметить, кого *не* цитирует Фарадей. Так как он не знает немецкого языка, то не читал Ома (см. выше), не знаком с Гауссом. Из французов он ни при каких случаях не говорит ни о Лапласе, ни о Лагранже, ни о Даламбере, ни о Коши. Это уже не условия окружения, а личная особенность Фарадея: великие классики математики и математической физики не оказали на него никакого влияния; математический метод мышления был и остался ему совершенно чуждым. Теоремы Гаусса и Грина, уравнения Лапласа и Пуассона — ныне любимейшее и элементарнейшее орудие в руках всякого работника электродинамики; Фарадей никогда не брал его в руки. К этому обстоятельству мы еще вернемся ниже.

Так как значительная часть исследований Фарадея носит химический характер, то несколько подробнее следует поговорить об его химических воззрениях и, в частности, об его отношении к атомистической теории. Несомненно, что эпоха Фарадея в сильной степени благоприятствовала развитию атомизма. Отметим важнейшие даты: в 1808 г. Волластон обосновывает своими опытами закон кратных отношений; в том же 1808 г. опубликовано и классическое произведение Дальтона, излагающее его атомную теорию. Наконец, 1811 год отмечается как год появления работы Авогадро. Фарадей — выдающийся химик и не мог не знать этих работ, не мог не замечать общего строя мыслей современников, *звавших* к атомизму. Мы и поныне считаем химические данные о постоянстве состава, понятие о химических эквивалентах едва ли не главными аргументами в пользу атомистических воззрений. Наконец, собственные исследования Фарадея в области электролиза, постоянство отношения между величиной перенесенного заряда и количеством продвинувшегося к электроду вещества легче и проще всего может быть объяснено тем, что каждый атом соединен с определенным зарядом. Конечно, то, что картина является простейшей, еще не служит доказательством ее истинности. Очевидно, что многие выдающиеся

умы, которые работали тогда в этой области, считали свои длинные недостаточными для такого далеко идущего заключения. В их числе был и Фарадей. Вот что мы читаем в п. 869 (седьмая серия):

«... если принять атомную теорию и соответствующие ей выражения, то атомы тел, эквивалентные друг другу в отношении их обычного химического действия, содержат равные количества электричества, естественно связанного с ними. Но я должен сознаться, что я с некоторым подозрением отношусь к термину *атом*, так как хотя об атомах очень легко говорить, но весьма трудно составить себе ясное представление об их природе, особенно когда дело идет о сложных веществах». ¹

Такая осторожность представляется нам теперь, при пышном расцвете атомизма, чрезмерной, и как-то особенно странно звучат эти слова в устах человека, который так много сделал для теории ионов — частей отрицаемого им атома. И еще более странно, что в наши дни этот парадокс повторился в лице Вильгельма Оствальда. Этот яростный враг атомизма всю жизнь энергично боролся за ионную теорию — в частности за аррениусовскую теорию электролитической диссоциации... Может быть, если когда-нибудь атомистическая теория встретит на своем пути особо непреодолимые трудности и если будет наблюдаться перекочевывание физиков на противоположные позиции, осторожность и проницательность Фарадея будут возбуждать особое удивление и уважение. Но нам, пока что, трудно представить себе такой переворот. ²

¹ В одном из следующих томов «Исследований» Фарадей возражает против атомной теории гораздо более резко, и даже придумывает рассуждение, которое ее, по его мнению, окончательно опровергает.

² Говоря о газах, Фарадей, как и все антиатомисты, легко сбивается на молекулярные представления. В частности, он представляет себе, что давление газов создается взаимным отталкиванием их частиц — кинетическая теория газов еще не разъяснила к тому времени этого явления. Это приводит его к большим затруднениям при физическом истолковании закона Дальтона, поверхностных явлений и проч. (626 и сл.).

Химия Фарадея — это химия 20-х и 30-х годов прошлого века, со всеми ее особенностями. О ней могут дать полное представление такие книги, как «Elements of Chemical Philosophy» сэра Гемфри Дэви (она, конечно, особенно важна для понимания взглядов Фарадея), или ранние издания Lehrbuch или Handbuch Гмелина. Химических формул здесь вообще нет — без них можно обойтись; но если бы их написать, применяясь к представлениям того времени, они имели бы необычный для нашего взгляда вид. Поскольку существование атомов считается недоказанным, для химика существуют только эквиваленты. Если принять за эквивалент водорода единицу, то эквивалент кислорода будет 8; формула воды будет HO . Однако понятие эквивалента, лишенное опоры в атомных представлениях, не вполне устойчиво. В самом деле, как быть, например, с кислородными соединениями азота, в которых на одинаковое количество азота может приходиться различное (в простых кратных отношениях) количество кислорода? Приходится говорить, что здесь в разных случаях один эквивалент азота соединяется не с одним, а с несколькими эквивалентами кислорода или наоборот. Но который же случай считать нормальным, т. е. таким, где один эквивалент азота приходится на один эквивалент кислорода? Иначе, если эквивалент кислорода равен 8, то чему равен эквивалент азота? Об этом во времена Фарадея шли споры, и Берцелиус составил новую таблицу химических эквивалентов. Фарадей выбирал, по его собственным словам, те данные, которые ему казались заслуживающими доверия. В п. 847 имеется составленная им таблица ионов. Из нее можно усмотреть, что эквиваленты одновалентных ионов (Cl , Br , J , H , K , Na и др.) имеют значения, близкие к принятым и ныне; эквиваленты O , Ca , Ba и т. д. вдвое менее их атомного веса, и это-то значение эквивалента и принято за нормальное. Отсюда формулы: HO , KO , CaCl , BaJ и т. д. Подчеркнем, что для Фарадея, как мы увидим, не все равно, что именно принять за эквивалент; он приписывает особые свойства веществам, где в соединении один эквивалент одного элемента приходится на один же эквивалент другого.

Кислотой называется то, что ныне носит название ангидрида: углекислота CO_2 , с эквивалентным весом 22; серная кислота $\text{S}(\text{O})_3$ (эквивалент 40); хлорноватая кислота ClO_5 (эквивалент 75,5); азотная кислота NO_5 (эквивалент 54). Основания (безводные) носят часто особые названия: окись натрия — натр NaO (эквивалент 31,3); окись калия — кали KO (эквивалент 47,2); таковы же барит, стронция, известь, магнезия (MgO , эквивалент 20,7), «алюмина». Солям приписывается строение «основание + кислота». Например, серноокислый натр = натр + серная кислота = NaSO_4 ; соединения галоидов не суть соли; они представляют прямое соединение металла (а не основания) с галоидом (а не кислотой).

Соединение с наименьшим количеством кислорода называется первичным окислом, или протоксидом; также существуют протохлориды, протоиодиды и т. д.¹

Мы позволяем себе этим закончить беглый очерк того исторического момента, в который жил и творил Фарадей. Обратимся теперь к характеристике самого труда Фарадея и рассмотрим его главные черты и основное содержание.

Сделалось общим местом, что Фарадей в своих «Исследованиях» не пользуется математикой. Но все же только при самом чтении его книги получаешь полное представление о том, как далеко идет эта черта: во всей книге ни одной формулы — ни алгебраической, ни, тем более, тригонометрической, ни одного геометрического чертежа или доказательства. Самое сложное математическое действие — решение простых пропорций, или, как их называли в старину, задач на простое тройное правило — и то это решение никогда не облачается в буквенную форму (см., например, п. 866).

¹ Поскольку Фарадей делает некоторые заключения на основании своей терминологии, нам пришлось сохранить ее и в переводе. Прибавленная нами (в конце) таблица дает сводку важнейших соединений, называемых Фарадеем, с указанием соответствующего нынешнего русского названия, а также формулы: с одной стороны — отвечающие представлениям Фарадея, с другой — современные.

Правда, лучший знаток Фарадея — Максвелл — предупреждает, что это отсутствие у Фарадея математического аппарата не должно вводить нас в заблуждение: «По мере того как я подвигался вперед в изучении Фарадея, — пишет он, — я убедился, что его способ понимания явлений также имеет математический характер, хотя он и не предстает нам облеченным в одежду общепринятых математических символов. Я увидел, что эти идеи можно выразить обычными математическими формулами и таким образом сравнить их с идеями профессиональных математиков». И далее: «Я увидел также, что многие из наиболее плодотворных методов исследования, открытых математиками, получали, при посредстве идей, проистекающих из идей Фарадея, форму, которая превосходила первоначальную». ¹

Но все же эта особенность Фарадея тяжело отражается на его произведении. Фарадей — не сверхчеловек, и как ни велика логика его мышления, она без помощи того аппарата, который ей, по Максвеллу, подобает, затруднена в своих выводах, а иногда приводит к ошибкам и к тому, что, при всем уважении к гению, приходится квалифицировать как наивность. Такое впечатление остается, например, от тех глав, где Фарадей стремится доказать тождественность *индукции* (мы бы сказали: поляризации) и проводимости. Мы теперь в школе обучаем, что ток проводимости пропорционален напряженности, а ток смещения — производной от этой напряженности по времени; попытки доказать, что мы имеем здесь одно и то же, кажутся тем более тягостными, чем они упорней и продолжительней... Или, например, после того как Фарадей гениально усматривает сущность электростатического действия в продольных и поперечных напряжениях силовых линий; после того как он, а в особенности Максвелл, показывает, что это воззрение приводит к полнейшему совпадению все следствия, выводимые для электростатики, с одной стороны, из этих предпосылок, а другой — из кулоновского закона дальности

¹ «Трактат», предисловие, где мы находим много и других ценных мыслей о труде Фарадея.

действия, — как после этого тягостно читать о ряде опытов, якобы доказывающих, что некоторые электростатические явления по-старому, по-кулоновски, объяснить нельзя, а по-новому можно!

Но если затруднен сам Фарадей, то во сколько же раз сильнее затруднены его читатели! Предоставим слово Гельмгольцу: «Я не хочу упрекать современников Фарадея [за это непонимание]; я отлично знаю, как часто я сам сидел, безнадежно застрявши на котором-нибудь из его описаний силовых линий, их числа и напряжения, или доискиваясь смысла утверждения, что ток является силовой осью, и т. п.»¹

Правда, часть обвинения в непонятности следует снять с Фарадея и переложить на все его время: терминология не установилась, одни и те же слова употреблялись то в одном, то в другом смысле — и часто совсем не в том, в каком употребляют их теперь. Тот же отрывок, цитируемый Гельмгольцем (он взят из пятой серии, п. 517), звучал бы значительно более вразумительно, если бы написать его, применяясь к нынешней терминологии, так: «Ток есть некоторое направление силы; в нем присутствуют заряды противоположных знаков, в количествах, которые в точности равны; они движутся в противоположных направлениях».

Но трудность понимания произведений Фарадея все же велика. Она усугубляется еще тем, что он на протяжении всей книги пишет нестерпимыми для нашего внимания, чрезмерно длинными, поистине карамзинскими периодами; при чтении конца такого периода мы уже забываем начало, вернувшись к последнему, принуждены вновь искать конца и т. д. Еще больше с этим хлопот переводчику.

Но пора уже перейти к содержанию «Исследований» Фарадея по существу. Мы будем здесь говорить только о первом их томе. Грубо говоря, можно разделить его на следующие *главные* отделы:

¹ Речь по случаю пятидесятилетия открытия электромагнитной индукции (1881 г.).

- а) электромагнитная индукция,
- б) законы электрохимического разложения,
- в) природа электростатических действий и
- г) общие соображения,

и *второстепенные*:

- д) тождественность электричеств разного происхождения,
- е) сущность проводимости,
- ж) контактное действие поляризованной платины и
- з) о гальванических батареях.

А. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

(первая серия, пп. 1—139; вторая серия, пп. 140—264; третья серия — примечание после п. 379 и девятая серия — пп. 1048—1118)

После того как Эрстедом было открыто, а Ампером исследовано возбуждение током магнетизма, десятки физиков устремились на поиски обратного явления — возбуждения тока магнетизмом (см. примечание Фарадея к п. 79). Первый успех был сужден Фарадею, и он излагает свои опыты в трех вышеуказанных сериях. Опыты эти, по его собственному неоднократному признанию (5,83), расположены им не в том порядке, в каком они произведены, а так, чтобы возможно кратко и убедительно привести к окончательному результату. Сначала описаны явления индукции при замыкании и размыкании токов; устанавливается действие индуцированных токов на гальванометр, их намагничивающее действие. Затем те же явления констатируются при приближении и удалении токов. С огорчением сообщается, что пробы на язык, на искру, на нагревание тонкой проволоки не дали положительных результатов. Все эти явления названы *вольта-электрической индукцией*. Далее излагается ряд опытов с индукцией токов магнитами и электромагнитами — последние устанавливают связь новых явлений с прежними явлениями вольта-электрической индукции. Явления воспроизводятся в разных масштабах — с самыми большими магнитами, которые тогда были доступны Фарадею, и с самыми небольшими обычными стержневыми магнитами; производятся разнообразные контроль-

ные опыты (опять неудача с пробой на язык и на содрогание конечностей лягушки). Устанавливается полная доказанность явлений; им дается название магнито-электрической индукции.

Далее следует неудачный раздел об особом «электротоническом состоянии», в которое якобы приходит вещество, когда через него проходит ток (60—80); этим состоянием Фарадей пробует объяснить все наблюдавшиеся им явления. Мы не будем останавливаться на этой гипотезе, так как Фарадей сам решительно отказывается от нее уже во второй серии своих исследований (231).¹ Это единственный раздел в учении об электромагнитной индукции, который не стал классическим, не вошел во все учебники.

Очень трудно, казалось бы, ощущать энтузиазм, когда говоришь о вещах, давно ставших предметом школьной премудрости. И все же мы принуждены воспользоваться этим термином. Ведь мы читаем страницы, которые менее чем за столетие, вызвали небывалую по размеру перестройку всемирного силового хозяйства. Электричество, сто лет назад не игравшее в нем никакой роли, ныне играет первенствующую. Оно решило задачу о передаче силы на расстояние, об ее трансформации для этой цели, ее экономичнейшем использовании на месте потребления; оно открыло для промышленной эксплуатации невиданные запасы мировой энергии. И подумать только, что вся добываемая во всем мире электрическая энергия добывается именно так, как Фарадей научил мир в ноябре 1831 г., в докладе Королевскому обществу! Принципиально нового с тех пор ничего не предложено — Фарадей за один доклад, сто лет тому назад, исчерпал всю тему! Вряд ли в то время самое пылкое воображение могло бы предвидеть необъятные размеры надвигающейся технической революции.

Не видел ее и Фарадей и, нужно сказать, мало интересовался техническими приложениями своего открытия, в первую голову

¹ Эта гипотеза очень пленила Фарадея, и растает она с ней только скрепя сердце (242). Она вновь овладевает им позже (1661, 1729, 1733; может быть, также 1114).

увеличением его масштабов. Он отказывается от этой задачи, предпочитая открывать новые факты и новые соотношения, зависящие от магнито-электрической индукции; он уверен, что «повышение силы полученных ранее явлений найдет впоследствии свое полное развитие» (159).

Правомерно ли такое направление? Сделаем для Фарадея исключение и признаем, что его теоретическая работа принесла человечеству больше, чем он мог бы дать во всю свою жизнь, если бы посвятил себя инженерно-конструкторскому оформлению своих достижений. Мы убедимся в этом, если пойдем дальше в ознакомлении с первой и второй сериями. Фарадей переходит к объяснению явления Араго в уверенности, что в нем мы имеем результат взаимодействия магнита с индуцированными этим же магнитом токами (81—139). Ряд опытов, который для этого ставится, тот путь, которым добываются заключения и самый характер этих заключений, — это шедевр, не превзойденный во всей истории физики; разве только знаменитая статья Герца о действии ультрафиолетовых лучей на искру может быть поставлена в параллель этому месту «Исследований». Немыслимо представить себе, чтобы автор мог направить свою мысль по такому необычному руслу, если бы у него не было какого-то нам не известного, целомудренно им скрываемого, особого представления об явлении, которое помогало ему найти выход из необозримого лабиринта представлявшихся фактов. Но нить Ариадны, которая его вела, обнаруживается им как бы произвольно: это представление о *магнитных силовых линиях* (114).

Конечно, для Фарадея силовые линии — это не воображаемые линии, с единственным свойством иметь касательными направления напряженности (примечание к п. 140). Они у него обладают рядом физических свойств, которыми он их наделяет, чтобы потом получать из созданной картины одно за другим изумительнейшие следствия.

Современники Фарадея, которые не усвоили сущности его воззрений, должны были взирать на Фарадея, как на какого-то волшебника, сумевшего извлечь из природы, непонятным для

них образом, целый новый мир разнообразных и неожиданных явлений: вращается пластинка около магнита — через пластинку течет постоянный ток; но можно пластинку прикрепить к магниту и вращать вместе с ним; можно выбросить всякую пластинку и вращать один магнит; можно двигать проволоку в магнитном поле земли — каждый раз ожидание Фарадея, знающего, как проволока будет перерезать магнитные силовые линии, целиком оправдывается.

Это — новое физическое мировоззрение: вместо привычных ньютоновских дальнедействий первенствующим становится что-то, характеризующее данную точку поля, и внимание физика устремляется на это неизведанное нечто, неясное, но многообещающее. Впрочем, не все соглашаются идти по этому новому пути; приведем отрывок из статьи Эйри, дающей ясное представление о таком отношении: «Я никак не могу себе представить, чтобы кто-нибудь, имеющий понятие о совпадении, которое существует между опытом и результатами вычисления, основанного на допущении закона дальнедействия, мог бы хотя один момент колебаться, чему отдать предпочтение: этому ясному и понятному действию [на расстоянии], или чему-то столь неясному и туманному, как силовые линии».

С тех пор несколько поколений физиков и электротехников воспитывается на представлении о фарадеевских силовых линиях. Физика в последние дни находит новые пути и временно как бы охладевает к этой классической картине электромагнитных явлений. Но техника еще долго будет ее культивировать и совершенствовать будет, ею пользоваться.

Позволим себе остановиться и на одном слабом месте первой и второй серий. Фарадей не знает, что собственно индуцируется в проводе — он говорит неопределенно об индуцированном действии (power), но более подробно его не определяет. Он пронесет мимо полюса магнита две скрученные разнородные проволоки (194, 195, 197 и др.) и убеждается, что при этом тока не наблюдается. Он заключает, что индуцированное действие таково, что возбуждает токи, прямо пропорциональные сопро-

тивлению; это приводит его в некоторое изумление. Мы знаем теперь, что в каждой точке индуцируется некоторая напряженность, а в проводе конечной длины — некоторая разность потенциалов. В двух смежных проводах возбуждаются две противоположные разности потенциалов, которые и компенсируются в общей цепи. Фарадею это осталось неясным — закон Ома еще не был для него привычным орудием мысли.

В девятой серии говорится о самоиндукции. Мы не остановимся на ней подробней, отсылая читателей к нашим примечаниям, помещенным после текста.

Б. ЗАКОНЫ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ

(пятая серия, пп. 450—563; седьмая серия, пп. 661—874; восьмая серия, пп. 966—988)

Это—второе важнейшее исследование Фарадея; но надо заранее знать, что при этой работе химические представления оказали на автора значительное влияние, и потому оно содержит весьма большое количество предпосылок и утверждений, которые в наше время уже невозможны. Назовем наши основные расхождения:

1. Со времен Аррениуса мы постепенно объединялись вокруг представления об электролитической диссоциации. Мы думаем, что электролиты уже без всякого содействия тока, вследствие самого факта растворения, распадаются внутри раствора на фарадеевские ионы. Фарадей чужд этому представлению; он, повидимому, пугается самой мысли о том, что прочнейшие соли в воде распадаются на свои составные части (506), а потому измышляет особый механизм обмена этими частями между расположенными в цепочку молекулами (пп. 518—525 и дальше). Уже в его время О. де ля Рив высказывал воззрения, близкие к аррениусовским, но Фарадей их резко критикует.

2. Фарадей считает, что при электролизе разлагается вода и движутся ее ионы; мы считаем выделение кислорода при электролизе подкисленной воды результатом вторичной реакции,

а роль воды в процессе *переноса* тока ничтожной, ввиду ничтожной диссоциации частиц самой воды (порядка 10^{-7});

3. Самые ионы мы представляем себе иначе; Фарадей отождествляет их с теми составными частями молекулы, которые определяют, по Берцелиусу, ее строение (см. п. 553 и выше в нашей статье).

4. Мы несколько точнее представляем себе картину движения ионов; конечно, оно происходит под действием электрического поля в данной точке — такое воззрение вполне отвечает и позднейшим фарадеевским (четырнадцатая серия). Каково это поле (точнее, его напряженность), — это математическая задача; но она решается однозначно, и решение таково же, как если бы мы предположили полюсы (или электроды) покрытыми электрическими зарядами, притягивающими и отталкивающими находящиеся в растворе ионы по закону Кулона. Если электроды не имеют вида точечных, если их размеры более или менее протяжены, то, конечно, в целом их действие не будет обратно пропорционально квадрату расстояния от них данного иона; при двух близких друг к другу плоских электродах поле между ними будет однородным. Все это очень просто, но во время Фарадея было еще не ясно ни ему, ни другим цитируемым им авторам; горячность, с которой он полемизирует против гипотезы о притяжении полюсов (в пятой серии) нам ныне представляется излишней: если напряженность внутри жидкости около поверхности полюса направлена нормально к последней, то не все ли равно как сказать: что эта напряженность выталкивает ион из жидкости или что ион притягивается к полюсу? Фарадей ставит ряд опытов, при которых устраняет металлические поверхности, заменяя их воздухом (460 и сл.) или водой (499 и сл.). Мы можем сказать, что на границе раствора все же будут появляться *свободные* заряды, которые будут действовать так же, как *истинные* заряды на поверхности металла.

Фарадей довольно подробно излагает взгляды всех своих предшественников (477—492), вследствие чего мы получаем отчетливое представление о состоянии вопроса к 1833 г. Наш

соотечественник Гротгус грешит неудачным применением закона Кулона, но, конечно, является первым, кто говорит о механизме электролитического тока. Поверить в существование свободных ионов он, естественно, не решился бы; но на *короткое* время, в течение которого молекулы ими обмениваются, он это допускает. Его взгляды повторяет почти дословно сэр Гемфри Дэви. Риффо и Шомпре думали, что молекулы, распавшиеся *под действием полюсов*, более уже не рекомбинируют; они допускают различие в величине положительного и противоположного отрицательного токов, т. е. различную скорость движения ионов разного знака. Только почему-то у них сила тока изменяется в зависимости от расстояния данного сечения от полюсов. Био высказывает взгляды, похожие на современные, если думать, что под «электрическим состоянием» данного сечения разуметь его потенциал. О де ля Рив уже говорит о сродстве между вещественной частью иона и его зарядом, но все же полагает, что разложение вещества происходит под действием тока, и притом вблизи полюсов.

Что нового вносит в эти и подобные представления Фарадей?— Прежде всего он полагает, на основании своих опытов, что о притяжении полюсов говорить не приходится; скорее выделяющиеся вещества выбрасываются действием тока из жидкости (493, также 498). Он доказывает, что разложение происходит одинаково во всех сечениях проводника (501); что оно происходит одинаково под действием гальванического и статического электричества; этим он вновь доказывает их тождественность (471).

Механизм электролиза, предлагаемый Фарадеем, близок к некоторым представлениям, ныне предлагаемым, например, для объяснения электропроводности нагретых кристаллов. Он таков: ток изменяет действие «сил сродства»; под его влиянием частица, связанная с другой в молекулу, начинает испытывать действие и других противоположно заряженных частиц и вступает с ними в соединение. Путем таких перескоков и обменов частица движется вперед. Она, по мнению Фарадея, может двигаться только до тех пор, пока впереди есть частицы, с которыми



Михаил Фарадей
Репродукция с портрета А. Блекли

она может соединяться. Когда их больше нет, она выталкивается (полам?) наружу, где и выделяется (518—524). Но мы теперь знаем, что никаких сил для разложения частиц не надо — они сами собой диссоциируют в электролитическом растворе. Фарадей ставит и опыты, которые, якобы, должны убедить, что сродство с находящимися впереди частицами помогает току и увеличивает количество выделяющегося вещества (525—530). Впоследствии, однако (675, примечание), Фарадей отказывается от такого толкования полученных им результатов. Он все же остается при убеждении, что вещество может переноситься только путем рекомбинации, и возражает против утверждения де ля Рива, что ион передвигается в виде соединения вещества с электричеством (543).

Но все это является только подготовительной работой к основной задаче Фарадея — установить при электролизе количественные отношения; он сообщает уже здесь (505) о своих работах в этом направлении и об их результате: «Для одного и того же количества электричества сумма электрохимических действий есть также величина постоянная, т. е. она всегда эквивалентна стандартному химическому действию, основанному на обычном химическом сродстве». Мы найдем полное развитие этого закона в седьмой серии (661—874).

Седьмая серия начинается с четырех страничек, в которых устанавливается новая терминология электрохимического разложения (661—668). Это тот язык, на котором мы говорим и поныне: электролит, электролиз, ион, анион, катион, электрод, анод, катод; с тех пор как эти слова произнесены впервые, они не сходят со страниц как самых элементарных учебников, так и глубочайших научных произведений. Фарадей справедливо полагает, что терминология далеко не безразлична для научного мышления; будучи создана для фиксации определенного научного представления, она немало способствует при своем распространении популяризации этого представления. Признаем же, что труды Аррениуса, Оствальда, Джонса, Дебая были бы затруднены, а может быть и невозможны, не будь этих четырех

страничек, представленных Королевскому обществу 9 января 1834 г.!

Далее идет раздел, где делается попытка установить особый закон, который бы позволил заранее предсказать, какое вещество является электролитом и какое этим свойством не обладает. При чтении этого раздела начинается ряд трудностей; для ясного понимания утверждений Фарадея не следует упускать из виду различий терминологии и представлений, на чем мы несколько и остановимся.

Вода для Фарадея — весьма прочное соединение *одного* эквивалента водорода с *одним же* эквивалентом кислорода; формула для нее будет HO . Она — электролит. Мы теперь знаем, что на самом деле она весьма слабо ионизована; концентрация водородных ионов едва достигает 10^{-7} от общего числа частиц.

Столь же прочны окислы, хлориды, иодиды и соли; они *часто* в расплавленном состоянии являются электролитами. Фарадею кажется, что для бинарных соединений можно установить такой закон: электролитами бывают только те соединения, в которых один эквивалент одного элемента соединен с одним же эквивалентом другого. Такой правильности, как это знает современная химия, обогащенная громадным фактическим материалом, на самом деле не существует. Если бы она существовала, то была бы, может быть, нелегкой задачей для атомной теории и для теории валентностей. Возьмем хлориды ртути. Мы утверждаем, что в каломели HgCl мы имеем одновалентный ион ртути Hg^+ , а в сулеме HgCl_2 — двувалентный Hg^{++} . По Фарадею, выходило бы, что нужно либо принять эквивалент ртути в 200 (при $\text{Cl} = 35,5$) и ожидать проводимости для HgCl и отсутствия ее для HgCl_2 ; либо принять эквивалент ртути за 100, и тогда проводить должна HgCl_2 , а HgCl должно быть лишено электропроводящих свойств. Между тем, и та и другая соли проводят в водном растворе.

Фарадей считает настоящим электролитом такой, который проводит без воды, в расплавленном состоянии. Здесь, однако, встречается затруднение в том, что некоторые вещества не выдер-

живают плавления без разложения. Большую трудность может создать для понимания рассуждений Фарадея то немаловажное обстоятельство, что у него кислотой называется ангидрид. Отсюда поражающее с первого раза утверждение (680), что серная, фосфорная, азотная, мышьяковая и другие кислоты не проводят тока и не суть электролиты, или еще, что при электролизе серной кислоты на одном электроде надо ожидать появления кислорода, а на другом — серы. Когда же говорится о гидратах этих ангидридов, то новой трудностью является то, что Фарадей безоговорочно держится берцелиусовского представления о строении их: для него такая «гидратированная серная кислота» имеет состав: вода + серная кислота, или $\text{HO} \cdot \text{SO}_3$, и подобно этому едкое кали имеет состав: вода + кали, или $\text{HO} \cdot \text{KO}$. У Фарадея не возникает никакого сомнения, что именно на такие части и будут распадаться эти соединения, вследствие чего, по его мнению, при электролизе разбавленной серной кислоты вода будет выделяться на катоде, а при электролизе разбавленного едкого кали — на аноде (553). Что касается физической стороны картины, то нам очень трудно мириться с утверждением, что следует различать электропроводность и разложение; что можно будто бы *сообщить воде электропроводность* прибавлением разных веществ, и тогда она начнет разлагаться.

Фарадей не был сверхчеловеком, и нельзя от него требовать чтобы он один проделал тот путь, который с большим трудом расчистили в течение ста лет его преемники. Напомним, что и у нас еще не все благополучно: в начале XX в. химики только что поверили в электролитическую диссоциацию Аррениуса. Затем явилась теория сольватов Джонса — примирение между Аррениусом и его противниками. И вот уже Дебай доказывает, что в сильных электролитах *все* молекулы в растворе ионизованы нацело.

После этих попыток следует блестящий раздел (704—741), имеющий целью создать прибор для измерения количества электричества, проходящего в цепи. Это — газовый вольтаметр. Рядом решительных и быстро ведущих к цели опытов устанав-

ливаются, что при надлежащих предосторожностях (в том числе приведенных в серии шестой — о контактном действии платины) количество выделенного гремучего газа (или одного водорода) не зависит ни от размеров электродов, ни от процентного состава электролизуемой жидкости ($\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$), ни от напряжения, а определяется исключительно количеством прошедшего электричества (знаменитый «1-й закон Фарадея»). На основании этого закона делается предложение: назвать единицей (или одним градусом электричества) то количество электричества, которое выделяет в вольтметре одну сотую кубического дюйма (или $0,164 \text{ см}^3$) газа. ¹

Теперь на пути к установлению закона об электрохимических эквивалентах стоит только одна трудность: различие тех случаев, когда имеет место прямое электрохимическое разложение, и когда выделяющиеся у электродов вещества являются продуктом вторичной реакции. Фарадей предлагает воспользоваться для этой цели только что изученным вольтметром и выставляет как принцип, что первичный характер — и он один — соединен с подчинением его «1-му закону». Мы можем согласиться, что при отступлении от последнего наличие вторичных реакций несомненно. Но обратное несправедливо: и при вторичных разложениях возможно точное соблюдение «1-го закона». ²

- Классический пример — подкисленная серной кислотой вода: мы теперь знаем, что разлагается при электролизе серная кислота, давая H_2 на катоде и SO_4 на аноде; О вторично соединяется с водой, увеличивая кислотность на аноде и выделяя там в строго эквивалентном количестве кислород. Фарадей же на основании соблюдения стехиометрических соотношений приходит к *неправильному* выводу, что разлагается сама вода.

Столь же сомнительны и дальнейшие рассуждения этого раздела (742—782). История тяготеет здесь тяжелым грузом на представлениях Фарадея, и он выступает в этих рассуждениях

¹ Это количество равно приблизительно 0,7 кулона.

² Фарадей это знает — см. п. 842; но есть и противоположное заявление — см. п. 926.

в непривычной для него роли — не революционера, а консерватора. Новые взгляды уже формировались (см., например, примечание автора к п. 746, а также п. 757, с некоторым легким выпадом против сэра Гемфри Дэви), но Фарадей предпочел здесь идти *новыми* путями для доказательства *старых* представлений.

Фарадей переходит к одному из самых центральных пунктов своих работ по электролизу — к установлению электрохимических эквивалентов. Он считает, что предыдущими опытами закон пропорциональности между количеством выделяющегося (первично!) вещества и количеством прошедшего через цепь электричества (783) достаточно установлен для случая воды (732), а также соляной и иодисто-водородной кислот; менее точно — для плавиковой, синильной, железисто-синеродистой и роданистой кислот, по их аналогии с первыми. Он переходит к количественному изучению безводных веществ. Двухлористое олово (по его представлениям содержащее один эквивалент Sn на один эквивалент Cl) приводит к величине эквивалента $\text{Sn} = 57,9\text{--}58,53$ вместо принимавшегося в то время 58. Хлористый свинец дает для свинца величину эквивалента 100,85; теоретическое ожидание — 103,5. Дальше идет ряд окисей: свинца, висмута, сурьмы, иодистых соединений свинца, олова, калия. Все дают в вольтаметрических опытах количества, пропорциональные химическим эквивалентам.

Дальше выдвигается гипотеза, что количество перенесенного током вещества может зависеть от сродства последнего к веществу электродов. Последние выбираются платиновые, медные и цинковые. Но оказывается, что наличие вторичных реакций не влияет на количественный результат первичной. «Химическое действие, — пишет Фарадей, — было вполне определенным» (809).¹ Вещества и опыты видоизменяются в самых разнообразных направлениях, но результаты оказываются неизменными. И Фара-

¹ Нам представляется, что этот не вполне обычный в физике термин заимствован Фарадеем из химии, отличающей смеси и растворы от «определенных» соединений (см., например, п. 821).

дей. устанавливает, что они «справедливы не только для одного вещества», «но для всякого электролита»; далее, что результаты, полученные для одного какого-нибудь вещества, согласуются не только друг с другом, но также и с результатами, полученными для других веществ; «все вместе представляют собой один ряд определенных электрохимических действий» (821).

В пп. 826—836 Фарадей формулирует вновь все положения, составляющие основу его теории электролиза. Их он дает одиннадцать. Забудем о первых девяти и будем помнить лишь два последних. Они достаточны, чтобы навеки закрепить за Фарадеем звание отца всей современной электрохимии.

Ввиду особой важности понятия об электрохимическом эквиваленте, Фарадей в ряде последующих параграфов дает указания о различных способах их определения и вычисления, а в п. 847 сводит в таблицу наиболее заслуживающие, по его мнению, доверия данные. Отсутствие правильного представления о кислотах ведет к тому, что кислоты галоидные и кислоты, содержащие кислород, считаются ионизирующимися по-разному: первые дают в виде катиона водород (это и мы думаем), а на аноде — F, Cl, Br, J, CN и т. д.; вторые будто бы распадаются на воду (катион) и ангидрид (в таблице эти ангидриды фигурируют под названием кислот: серной SO_3 , селеновой SeO_3 , азотной NO_5 и т. д.). Равно и соли галоидоводородных кислот в виде катиона выделяют металлы; соли кислородсодержащих кислот — основания: натр NaO , кали KO , известь CaO , магнию MgO и т. д.

Последний раздел этой серии носит название: «Об абсолютном количестве электричества, соединенном с частицами или атомами материи». Трагическое положение: Фарадей не может назвать или определить это количество из-за того, что электростатическая единица заряда не установлена. Он ясно представляет себе, что оно очень велико; в атомах, содержащихся в 1 грамме (66,4 мг) воды, его столько, сколько нужно, чтобы 800 000 раз зарядить лейденскую батарею (15 банок, высотой 20 см, 58 см в окружности) тридцатью оборотами большой машины

в полном действии (861); это количество равносильно «несмысленной вспышке молнии» (853). Более точные указания невозможны.

Здесь Фарадей делает еще один важный шаг; он исследует химические реакции в гальваническом элементе и доказывает, что производимый последним ток в нем самом соответствует эквивалентному количеству растворившегося цинка. Отсюда он заключает, что «электричество, которое разлагает определенное количество вещества, равно тому, которое выделяется при разложении того же количества» (868). Тут же он дает наиболее решительное и ясное толкование всех своих количественных результатов: «Эквивалентные веса тел, — пишет он, — представляют собой такие количества их, которые содержат равные количества электричества» (869).

В этом разделе мы встречаем особенно много высказываний Фарадея об атомах, на чем, к сожалению, мы не имеем возможности остановиться подробнее. Отметим одно: Фарадей — антиатомист, а потому не мог задаться вопросом, что это за таинственное количество электричества, которое постоянно соединено с одним атомом одновалентного вещества. Выражение атом электричества впервые употребил Максвелл — употребил для того, чтобы сейчас же от него отказаться.¹ Серьезное значение вложил в эти слова впервые Гельмгольц в выше цитированной речи (1881 г.) и, наконец, создал атомистику зарядов — электронную теорию — Лорентц в 90-х годах минувшего века. Почти шестьдесят лет понадобилось, чтобы вывести все возможные следствия из тех количественных соотношений, которые найдены Фарадеем. И он, антиатомист, явился первым виновником распространения атомистических представлений на новую субстанцию, виновником невиданного по пышности нового расцвета атомизма.

Вопросам электролиза посвящено еще две главы в восьмой серии; одна (966—988) говорит о напряжении, необходимом для

¹ «Трактат», § 260.

разложения; мы знаем, что диссоциация происходит сама собой; необходимость работы создается образующимися поляризационными электродвижущими силами. Про них знает и автор (969, 1040); но здесь его интересует не эта часть вопроса. Он ищет, нет ли такого предельно низкого напряжения, при котором ток еще проходит, а разложения нет. Это соответствовало бы тому, что у электролита имелась бы некоторая доля электронной электропроводности. Фарадей ее и находил в ряде случаев. Еще при жизни его это утверждение было опровергнуто.

Вторая глава описывает ряд опытов для изучения того препятствия, которое представляет собой разлагающийся электролит. Для этого исследуются явления, возникающие при включении в электролитическую цепь промежуточных пластинок.

Ни тот, ни другой разделы не приближаются по своему значению к двум великим законам, которые Фарадей дал в седьмой серии.¹

В. ПРИРОДА ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ДЕЙСТВИЙ

(одиннадцатая серия, пп. 1161—1317)

Всякое электростатическое действие Фарадей связывает с индукцией. Когда он употребляет этот термин, он, как это видно из всего содержания настоящей серии, имеет перед глазами картину проводника, находящегося в электростатическом поле и по индукции заряжающегося двумя зарядами: в месте входа силовых линий — отрицательно, в месте их выхода — положительно. Общий заряд проводника, если он до внесения в поле был не заряжен, конечно, остается равным нулю. По мнению Фарадея, эта картина является универсальной, что он и доказывает опытами в различных направлениях. Прежде всего он останавливается на вопросе, можно ли какими бы то ни было способами создать, как он выражается, «абсолютный» заряд, т. е. заряд

¹ Об электролизе идет речь еще в двенадцатой серии (1343—1358), но с специальной точки зрения, вследствие чего мы рассмотрим эти параграфы в разделе «Сущность проводимости».

одного знака, без одновременного создания равного ему и противоположного в другом месте поля (1169—1178). Он напоминает, что в случае проводников дело упрощается тем, что в них заряды всегда сосредоточены на поверхности; сложнее для исследования, в этом смысле, случай диэлектриков, где возможны труднее уловимые внутренние заряды. Чтобы доказать невозможность появления и здесь избыточного заряда одного знака, Фарадей построил свою знаменитую «клетку» — кубическую камеру с сетчатыми стенами, с длиной куба свыше 3,5 метра. Опыты убедили его, что ни в одном случае избыточного («абсолютного») заряда создать не удастся. Собственно говоря, нельзя считать невозможность такого заряда доказанной этими опытами; можно только утверждать, что такая возможность *еще* не доказана. Впрочем, это не мешает нам вместе с Фарадеем (1174) верить в правильность его основного положения.

Но раз общий заряд, получаемый при электростатических опытах, равен нулю, то дело сводится к получению двух противоположных зарядов на двух концах некоторого тела или среды. А это и есть *индукция*. Фарадей высказывает убеждение, что в электрическом поле всякий диэлектрик приходит в такое поляризованное состояние. Но если так, то среда должна оказывать влияние на электрические явления, в ней происходящие. Емкость конденсатора должна измениться, если в него вносится способное к индукции вещество. Специфическую величину, характеризующую эту индивидуальную особенность каждого вещества, Фарадей называет удельной индуктивной способностью. Мы называем ее ныне диэлектрической постоянной; но в тексте перевода мы сочли полезным оставить термин Фарадея, чтобы сохранить связь термина с его физическим происхождением.

Эти соображения приводят Фарадея к его знаменитым опытам по изменению емкости воздушного конденсатора при помещении между его обкладками другого диэлектрика. Опыты произведены с гениальной простотой, поражающей целеустремленностью и с столь же поражающим своей примитивностью инструментарием. Фарадей сам строит свои индуктивные приборы (1187—

1203); свои электрометры, по Кулону (1180—1186); сам отли-
вает полусферические диэлектрические слои (из стекла, серы,
спермацета, шеллака). До сих пор поучительно, как он исклю-
чает «рассеяние» (утечку) электричества и электропроводность
слоя. Он вполне учитывает влияние проводящих частиц, вкрап-
ленных в диэлектрик и тем самым уменьшающих эффективную
толщину диэлектрического слоя.

Несомненно доказав существование «удельной индуктивной
способности» исследованных тел, отличной от единицы, Фара-
дей особенно ревностно изучает газы — изучает всесторонне;
он не упускает ни влияния повышенного давления и разрежения,
ни роли температуры, ни химических особенностей газа — чист-
того или в смеси с другим. Конечно, при тех экспериментальных
средствах, которыми располагал Фарадей, нельзя было заметить
малых величин, на которые диэлектрические постоянные газов
отличаются от единицы; напомним, что, например, у воздуха
диэлектрическая постоянная только при 20 атмосферах отли-
чается от единицы на один процент. Фарадей думал даже,
что «открытая им «одинаковость» диэлектрических постоянных
для всех газов является новым примером тех многочисленных
простых законностей, которые характерны для всех газов (1292).
Впрочем, он сознает (1293), что такие простые результаты могут
объясняться недостаточной точностью опытов.

Доказав существование в телах индукции или поляризации,
Фарадей усматривает в ней первостепенное физическое значе-
ние. По его мнению, всякое электростатическое действие пере-
дается от точки к точке исключительно взаимной индукцией
смежных частиц (1925). «Смежных» — это, по Фарадею, значит
«ближайших». С некоторым разочарованием мы убеждаемся, что
Фарадей пока не отрицает действия на расстоянии, но ограни-
чивает его *малыми* расстояниями между ближайшими части-
цами. Что делается в пространстве, свободном от вещества,
Фарадей не берется здесь истолковывать. Но у него в этой серии
впервые появляется настойчивое указание, что линии индукции
должны друг от друга отталкиваться (см. например, п. 1297),

т. е. они, будучи растянуты в продольном направлении, сжаты в поперечном. Только Максвеллу удалось дать этой гениальной картине напряжений точное количественное выражение.¹

В этой части одиннадцатая серия «Исследований» прочно вошла в науку. Но есть в этой серии и более слабые места. Дело в том, что Фарадей решил этими по существу электростатическими исследованиями опровергнуть теорию дальнего действия и укрепить свою новую точку зрения. Как мы уже упоминали выше, эта попытка осуждена на неудачу: различие между теорией дальнего действия и фарадеевско-максвелловской теорией поля начинается только в переменных — и притом быстро переменных — полях, когда выступает на передний план ток смещения; во всех прочих случаях простыми соотношениями между основными величинами той и другой теорий эти теории приводятся к тождественности результатов в отношении наблюдаемых в электрическом поле взаимодействий. И исторически представление Фарадея о строении и функциях диэлектрика гораздо ранее теории Максвелла привело к теории диэлектриков Клаузиуса — Моссотти, изложенной в терминах теории дальнего действия; понадобилась только небольшая поправка — один коэффициент — в законе Кулона, и вся теория дальнего действия в электростатике делается неуязвимой.

В частности, Фарадей старается доказать, что индукция распространяется от точки к точке по кривым линиям (мы бы сказали: линии индукции суть некоторые кривые). По его мнению, этот факт находится в противоречии с положениями теории дальнего действия, где все силы действуют по прямой. Конечно, здесь имеется недоразумение: ведь вектор индукции в изотропных телах (а Фарадей занимается только ими) имеет одинаковое направление с вектором электрической напряженности. Если искривлены линии индукции, то искривлены и линии напряженности; кривизна этих линий зависит от присутствия в поле нескольких — иногда бесконечно многих — зарядов и из теории

¹ «Трактат», §. 105 и сл.

дальнействия прямым образом вытекает, а вовсе ей не противоречит. Правда, нам теперь легко поучать Фарадея с точки зрения нашей, ставшей для нас уже элементарной, школьной премудрости; не так дело обстояло во время Фарадея. Но хотя он имел право так ошибаться, рассуждения его (1215—1230) все же остаются ошибочными.

По мнению Фарадея, индукция есть первичное явление, предшествующее, например, и току (1164). Повидимому, здесь перед Фарадеем стоит такая картина: данная частица поляризуется — это индукция; на определенной стадии поляризованная частица разрывается — теперь начинается ток. Мы в наши дни усвоили понятие свободных зарядов — не связанных электронов — и не считаем поэтому индукцию необходимой первой стадией явления проводимости. Но Фарадей эту точку зрения настойчиво проводит через все серии «Исследований», и нам с ней придется встретиться многократно.

Г. ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ

(тринадцатая серия, пп. 1617—1666; четырнадцатая серия, пп. 1667—1748)

Эта часть, составляющая содержание разделов 19—22, по своему характеру отличается от прочих частей «Исследований», и прежде всего тем, что они в значительной степени беднее экспериментальным материалом. Здесь Фарадей как бы подводит итог всему своему колоссальному труду, старается извлечь из него все возможное в смысле теоретических выводов. Самые названия разделов в этом отношении характерны:

Раздел 19. Природа электрического тока.

- » 20. Природа электрических сил (т. е. зарядов).
- » 21. Связь между электрической и магнитной силами (т. е. между электричеством и магнетизмом).
- » 22. Замечание об электрическом возбуждении.

Последуем за Фарадеем в изложении его основных взглядов на исследованные им явления.

1. *Природа тока.* Фарадей предостерегает от слишком большой определенности этого термина (1617), однако тут же готов

признать, что сущность явления заключается в поступательном движении зарядов. В токе неотделимы: 1) возбуждение (т. е., по-современному, электродвижущая сила) и 2) разряд (1618); вопрос о возбуждении откладывается (см. ниже, раздел 2.2); разбираются действия разряда. На первом месте называется электролиз (1621), с его «определенностью», т. е. с постоянным отношением между количеством прошедшего электричества и количеством выделившегося вещества. Далее сближается с электролизом конвективный ток (1622) — разница между ними только количественная, а механизмы их одинаковы. Здесь Фарадей открывает путь одновременно к опытам Роулэнда и к нашим современным представлениям, усматривающим тот же механизм и в токе проводимости (конвекция свободных электронов), и в поляризационных токах (конвекция связанных в молекуле электронов); только для «токов смещения в свободном эфире» мы еще не постулируем того же механического переноса зарядов. Наряду с химическими действиями Фарадей говорит о тепловых действиях тока. Здесь, однако, ничего существенного не выясняется, так как закон Джоуля еще не известен, а Фарадей ищет простого соответствия, пропорциональности между количеством тепла, выделенного током, и количеством прошедшего электричества (1625).

Фарадей и здесь (так же, как в главе об электролизе) особо подчеркивает невозможность существования тока одного только рода электричества: в каждом поперечном сечении через проводник должно существовать одинаковое количество зарядов противоположного знака (1627, 1632); через каждое сечение проходит ток одинаковой силы; в отношении постоянного тока вряд ли нужно было бы доказывать эти истины так горячо. Впрочем, как мы говорили выше, Фарадею неизвестен закон Ома. Фарадей отрицает униполярные явления, или, вернее, отказывается видеть униполярность там, где ее усматривали многие другие (1636—1640); он не верит в шаровую молнию (1641). Следует знаменитое определение тока (1642): «...ток есть вещь неделимая — силовая ось, в которой заряды обоих зна-

ков присутствуют в одинаковом количестве». Остроумными соображениями насчет «индукции смежных частиц» Фарадей старается показать, что даже в том случае, когда ток производится переносом, при движении шарика, несущего этот заряд, это правило не нарушается (1643—1645). Признаемся, что самая цель, к которой стремится в своих рассуждениях Фарадей, здесь нам не вполне понятна: нет ли тут неясно выраженной мысли о замкнутости линий тока, которая впоследствии привела Максвелла к представлению о токах смещения.

Фарадей думает и о скорости движения электрических зарядов. Ему ясна разница между скоростью этого движения и скоростью передачи электрических действий (1649). Он пробует вычислять эту скорость для частиц электролита (1651), но делает при этом произвольное (и неправильное) предположение, что в электролизе принимают участие *все* частицы электролита (он думает, как мы знаем, что электролитом является сама вода).

Дальше Фарадей пишет о «действиях тока в сторону» — о магнитных его действиях. Отметим в п. 1654 фразу о том, что, возможно, даже при конвекции будет наблюдаться тот же магнитный эффект (см. также п. 1657). Все мысли Фарадея по этому поводу — это только смелые гадания, так как в его время данные о магнитном действии токов различного вида были весьма сбивчивы и скудны (1655). Так, магнитное действие конвективного тока, найденное гораздо позже (1876 г.) Роулэндом, уже в наши дни дало повод к разным экспериментальным (да и теоретическим) недоразумениям, разрешенным окончательно только в классических исследованиях А. А. Эйхенвальда. Магнитное действие катодных лучей только в опытах А. Ф. Иоффе можно считать впервые (в 1911 г.) установленным и измеренным. Фарадей обращает внимание, что линии электростатической индукции стремятся взаимно отталкиваться, расширяться, и пробует такое — также «боковое» — действие связать и с магнетизмом и с электромагнитной индукцией (1659). И тут вновь выплывает давно забытое самим автором «электротоническое состояние» (1661), которое он сначала изобрел для объяснения

индукции, а потом оставил. Собственные мысли так легко повращаются у каждого автора вновь и вновь... Самое направление исканий Фарадея в кругу этих вопросов отклоняется от того пути, по которому пошла физика в дальнейшем. Так, например, в п. 1658 он сообщает: «Я долго искал — и все еще ищу — такого явления или состояния, которое бы представляло собой для статического электричества то же, что магнитная сила представляет для тока электричества». Мы соединяем ныне с магнитными линиями представление о вихревых линиях, пронизывающих другой вихрь — замкнутые линии тока. Родства с незамкнутыми электростатическими линиями мы в них ныне не усматриваем. Дальнейшие рассуждения этого раздела о природе магнитных сил мы найдем ниже.

2. Раздел 20 (1667—1708) ставит вопрос о природе самих зарядов. Здесь в начале (1669—1678) излагаются основные «верования» Фарадея: частицы всех тел — проводнички; в присутствии электрических сил они мгновенно поляризуются; при прекращении этих сил их поляризация так же мгновенно исчезает. Они могут нести на себе и заряд одного знака. Действие от одной частицы к другой происходит по линиям индукции, причем может передаваться и заряд. Если такая передача происходит легко (при меньшей электрической напряженности), мы имеем проводник; в противном случае — диэлектрик; разница между проводниками и диэлектриками не качественная, а только количественная. Индукция происходит только через диэлектрик, через посредство «смежных» частиц; при проводимости последняя накладывается на поляризацию.

Мы ныне не берем проводника за одну скобку с изоляторами, не считаем частиц диэлектрика проводниками (в том смысле, как это делает Фарадей); поляризацию приписываем и пустому пространству («свободному эфиру»). И все же мы в своих представлениях более сходимся с Фарадеем, чем расходимся с ним: мы усвоили его основной взгляд на электростатическое поле.

Подробно разъяснив свою точку зрения двумя примерами — системы магнитиков и заряженной лейденской банки (1679,

1682—1684), Фарадей переходит к ее дальнейшему уточнению. По его мнению, сближением индуцирующего тела с индуцируемым можно сильно увеличить заряды на концах последнего (1686); и заряд частицы можно, думает он, сделать чрезвычайно большим. Странно, при этом он забывает, что каждая частица несет на себе определенное количество электричества. Мы лучше его помним это им же установленное правило и полагаем, что изменение дипольного момента молекулы происходит не за счет увеличения ее заряда, а раздвиганием этих зарядов постоянной величины на разное расстояние. Не можем мы согласиться и с другими взглядами Фарадея о распределении противоположных зарядов по поверхности проводника-молекулы (1687), о зависимости явлений разряда от вида такого распределения. Наши представления об атоме и молекуле испытали со времени примитивных взглядов Фарадея слишком большую эволюцию.

По мнению Фарадея (1689), молекулы в изотропных телах поляризуются во всех направлениях «с одинаковой легкостью». Мы знаем, что это так. Он правильно ставит задачу о наблюдении соответственных явлений в кристаллах. Сам Фарадей не мог найти различия диэлектрической постоянной по различным направлениям в кристаллах (1690—1698). Ныне в отдельных случаях они известны с большой точностью.

Молекулы обладают свойством поляризации как нечто целое: металлы и металлоиды, в них входящие, не поляризуются отдельно. Иначе как представить себе, что в них проводник — металл — в соединении теряет свои проводящие свойства (1700, 1701)? Электролиты тоже дают Фарадею некоторое уточнение развиваемой им картины; но нам последняя чужда: постулируемое им минимальное напряжение, необходимое для электролиза; якобы существующий закон об отсутствии проводимости твердых электролитов; другой такой же не существующий на деле закон об обязательном составе электролита из эквивалентов («один на один»), — все это объясняется достаточно остроумно, но остроумие тратится на доказательство недоказуемого.

3. *Связь электрической и магнитной силы или сил.* Имеются в виду прежде всего заряды, но иногда и силы в нашем нынешнем понимании. Здесь Фарадей опять становится на прочную базу опыта и ищет, оказывает ли при явлениях электромагнитной индукции промежуточное вещество какое-нибудь влияние на характер или интенсивность этих явлений. Конечно, он стремится обнаружить такое влияние; если бы оно было найдено, то это означало бы, что и магнитные действия распространяются «индукцией между смежными частицами». Но на данной стадии ни один опыт Фарадея в этом направлении не дал ему положительного результата, и такое магнитное действие смежных частиц остается недоказанным. Несмотря на это, Фарадей не отказывается от него окончательно, хотя и указывает на принципиальное различие электричества и магнетизма: линии магнитной силы относительно направления тока суть «боковое» явление, лежащее от тока куда-то в сторону. Может быть, потому оно и распространяется по другому закону? Опять мелькает упоминание об электротоническом состоянии.

К вопросу о магнитных силах Фарадей вернется позже, в следующих сериях своих «Исследований». Там он получит более решительные опытные данные в пользу воззрения, что и магнитное действие есть «действие смежных частиц».

4. Фарадей кончает свои исследования «*Замечаниями об электрическом возбуждении*» (1737—1748). Он в значительной степени повторяет здесь свои прежние рассуждения: возбуждение (электродвижущая сила) не может зависеть от одного контакта между двумя веществами — необходима химическая реакция; иначе ток получить невозможно (1745). Основное представление Фарадея о появлении электродвижущей силы тесно связано с его представлениями о сущности электрохимических процессов: требуется особое расположение частиц (1742) и обменная химическая реакция между ними — так же, как это, по мнению Фарадея, происходит при электролизе; только там все частицы тождественны, а здесь мы имеем обмен между частицами электролита и частицами вещества электрода (518—

524). Хотя Фарадей отрицает тождественность процессов при возбуждении химическим путем и трением (1744), однако и для последнего он предлагает модель, очень близкую к той, которую он создал себе для процесса электролиза (1746, 1747).

Д. ТОЖДЕСТВЕННОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСТВ РАЗНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

(третья серия, пп. 265—379)

Мы позволили себе отнести всю эту серию к числу второстепенных, поскольку современное всеобщее убеждение в тождественности электричеств различного происхождения базируется не на этих исследованиях Фарадея, а скорее связано с теоретическим уяснением явлений на основе закона Ома. Когда оказалось, что последний является универсальным, что все наблюдаемые при разнообразных источниках различия сводятся к различиям электродвижущих сил, внутренних и внешних сопротивлений и соответственных падений потенциала, то для полного успокоения осталась одна задача — измерить и изучить токи от различных источников одними и теми же методами исследования. Напомним, что первый шаг в этом направлении сделал сам Вольта, который уже обнаруживал разности потенциалов на борнах изобретенного им столба электростатическими методами (с помощью им же изобретенного электроскопа с конденсатором). Фарадей стремится к тому же и даже производит первые сравнительные измерения (361—379). Обратим внимание, что в первом столбце его сводной таблицы стоит еще констатация *физиологических* действий (пробы на язык и на содрогание конечностей лягушки); магнитное отклонение занимает уже *второе* место; на четвертом стоит *искра*, смешиваемая при этом с *дугой*.

Е. СУЩНОСТЬ ПРОВОДИМОСТИ

(четвертая серия, пп. 380—449; двенадцатая серия, пп. 1318—1479 и часть тринадцатой серии, пп. 1480—1616)

В первой части этих исследований (в четвертой серии) Фарадей обнаруживает совершенно новый, по его мнению, закон электролитической проводимости, а именно: полную потерю тако-

вой при затвердевании. Ныне мы знаем, что это не так, и прослеживаем постепенное возрастание проводимости уже твердого кристалла (правда, очень быстрое вблизи точки плавления). Но и Фарадей заметил, что при высоком напряжении кристаллы проводят уже и при низких температурах.

Двенадцатую серию Фарадей посвящает, как он пишет сам, вопросам индукции. На самом деле и в этой, и в следующих сериях речь идет о проводимости. Именно здесь Фарадей, как мы упоминали выше, старается доказать, что индукция и проводимость — одно и то же. Для этого Фарадей рассматривает один за другим различные виды «разряда» (т. е. тока) и сопоставляет в этих различных случаях диэлектрические и кондуктивные свойства вещества. Он знает следующие виды разряда:

- ток проводимости (металлической);
- то же, электролитической;
- искру;
- кистевые разряды;
- светящийся разряд;
- темный разряд;
- конвекционный ток.

Начнем вместе с Фарадеем с токов проводимости (1320—1342). Ход мыслей здесь таков: если взять даже хороший изолятор, то он через некоторый — правда, очень большой — промежуток времени позволяет противоположным зарядам соединиться; настоящий проводник позволяет тому же действию произойти необыкновенно быстро. Различие, стало быть, во времени — различие не качественное, а количественное. Отсюда делается вывод, что и вообще процессы в проводниках и диэлектриках происходят по существу одинаковые; по мнению Фарадея, это — индукция, или поляризация смежных частиц. Так как при поляризации две частицы, расположенные на одной линии индукции, повернуты друг к другу противоположными зарядами, то они могут эти заряды друг другу передавать. Это будет уже ток; ток обязательно предшествует индукция.

Мы не делаем таких заключений; мы полагаем ныне, что в веществе могут существовать рядом свойства диэлектрические (связанные электроны) и свойства проводимости (свободные электроны, ионы). Но если эти свойства существуют рядом, то это еще не значит, что они представляют собой одно и то же. Следует признать, что все относящиеся сюда рассуждения и выводы Фарадея представляют собой некоторое преувеличение идеи индукции — преувеличение, которое, наверное, компрометировало самую идею в глазах теоретиков. Отметим один параграф, где Фарадей выражает мысли, похожие на современные (1338); он пишет здесь: «... можно сказать, что изоляторами являются те вещества, частицы которых могут удерживаться в поляризованном состоянии, а проводниками — те, частицы которых не могут оставаться устойчиво поляризованными». Но дальше он опять сбивается на тождество этих явлений.

Понятие о времени разряда сохранилось у нас и уточнилось в понятии о релаксационном времени.

Фарадей с сочувствием описывает опыт Уитстона, сделавшего попытку определить скорость распространения электрических явлений. Как известно, он при этом впервые применил метод вращающегося зеркала — прототип позднейших опытов Физо и Фуко. Конечно, мы имеем при распространении возмущений по проволокам явление более сложное, чем просто скорость движения зарядов. Но теория этого явления дана гораздо позже: с точки зрения теории дальнодействий — Кирхгоффом, Стефаном; с точки зрения максвелловой теории — только Герцем.

Далее следует краткое напоминание взглядов Фарадея на сущность электролитической проводимости (1343—1358). И здесь говорится о первоначальной индукции, которая, достигнув определенного напряжения, позволяет двум зарядам разъединиться, чтобы соединиться затем с встречными противоположными зарядами. Мы не знаем этого минимального напряжения, с которого начинается разряд; у растворов, конечно, существуют диэлектрические свойства, но они проявляются независимо от

проводимости, рядом с ней, а не совпадая с ней. И здесь упоминается о родстве электролиза с конвекцией (1347).

Фарадей несколько затруднен обстоятельством, почему различные добавки (солей, кислот, щелочей) делают воду более проводящей: ведь электролитом является, по его представлению, она сама (1355 и сл.). Вопрос этот, конечно, разрешения у Фарадея найти не мог. Отметим опыт с кусочками шелка, располагающимися вследствие поляризации вдоль линии силы (1350).

Далее Фарадей переходит к явлениям разрывного разряда, предпосылая изучению отдельных его видов несколько общих соображений (1359—1405). Его представление и здесь остается прежним: частицы газа (он говорит главным образом о газах) поляризуются; когда поляризация или индукция достигает некоторой величины, молекула разрывается, образуя ионы, вследствие чего и появляется электропроводность. Эти взгляды Фарадей старается привести в согласие с существовавшими к тому времени опытными данными Гарриса (1363—1367) о зависимости искрового промежутка от давления и температуры газа. Ему кажется, что теория и опыт хорошо друг с другом совпадают.

В этом отделе мы находим и новые опыты Фарадея над тем, что мы теперь называем диэлектрической прочностью. Здесь Фарадей опять в своей истинной сфере и опять показывает нам, с какими ничтожными средствами он умеет добиваться нужных результатов. Цель его — показать, что вещество газа принимает активное участие в явлении пробоя, что здесь опять имеет место «действие смежных частиц» и индукция. Он обнаруживает, что газы, столь *одинаковые* в отношении диэлектрических свойств, в отношении пробоя обладают резко индивидуальными чертами.

Теперь Фарадей переходит к отдельным видам разряда. На первом месте у него стоит искра (1406—1424). И для искры Фарадей указывает приблизительно прежний механизм: растет индукция каждой отдельной частицы, и этим подготавливается путь для разрыва всех частиц по одной линии, на которой случайно для этого возникнут наилучшие условия. Путь, по которому проскакивает искра, представляет собой почти проводник.

Когда искра проскакивает, падает напряжение, слабеют силовые линии, прекращается их поперечное взаимное отталкивание (1411). Исходя из этих соображений, Фарадей ожидает, что две параллельные искры будут друг к другу притягиваться. Однако опыты, которые он поставил для проверки этого предположения, не удались (1412 и сл.). Но зато Фарадей заметил важное явление, что искра в одном искровом промежутке облегчает проскакивание искры в соседнем искровом промежутке (1417). Объяснить это явление Фарадей не сумел. Это открытие было заново сделано ровно через пятьдесят лет, в 1887 г., Герцем, который выяснил, что оно производится действием ультрафиолетовых лучей, испускаемых первой искрой. Отсюда родился фотоэффект. Фарадей сблизил свое открытие с другим фактом, им замеченным (1418), что «разряд способствует сам себе», т. е. искра, например, проскакивает преимущественно по прежнему пути, повторяя его зигзаги. Мы теперь легко объясняем это явление *ионизацией*, произведенной искрой на первом своем пути. С другой стороны, мы думаем, что разрыв частиц происходит не под прямым влиянием электрических сил, а под действием удара ионов. Но это явление, изученное Тоунсендом (1903 г.) и отчасти Штарком, конечно, еще не могло быть привлечено Фарадеем к объяснению явлений так называемого самостоятельного разряда. Фарадей изучает так же цвет искры в разных газах. Это, пожалуй, примитивный опыт спектрального анализа, впрочем, еще без спектроскопа.

От искры Фарадей переходит к кистевым разрядам (1425—1464). И здесь он преследует цель — установить индивидуальные свойства газов в отношении кистевых разрядов, чтобы тем подкрепить свою постоянную точку зрения индукции смежных частиц. Разветвления кисти приблизительно следуют своими изгибами направлению линий индукции. Механизм кисти — тот же, что и искры; одна незаметно переходит в другую при изменении давления; особенно часто упоминается о «частицах воздуха, заряженного электричеством», — заблуждение, повторявшееся вплоть до Экснера и Крукса.

Значительное место (1465—1525) Фарадей отводит вопросу о том различии, которое наблюдается при кистевом разряде близ двух противоположно заряженных электродов. И здесь Фарадей поворачивает дело так: он доказывает, что наблюдаемое различие полюсов различно в различных газах и, следовательно, зависит не от проводников, а именно от газов — от индукции смежных частиц. Самому же различию полюсов Фарадей объяснения дать не может; он только высказывает предположение, что поляризация, предшествующая разряду, различна у двух противоположных полюсов. Это, конечно, весьма слабое место, и Фарадей, чувствуя это, пишет (1523): «Результаты, связанные с условиями, различными для положительного и отрицательного разрядов, окажут на теорию учения об электричестве значительно большее влияние, чем мы можем себе представить в настоящее время». В этом Фарадей оказался прав: изучение этого различия дало современной физике электронную теорию.

Мы позволим себе совсем не останавливаться на разделах о светящемся («тлеющем») разряде (1526—1543) и скажем только несколько слов о разряде темном (1544—1561). Это знаменитое «фарадеево темное пространство». Его природа смущала не одного Фарадея, а всех занимавшихся газовыми разрядами физиков — вплоть до того момента, когда понятие об ударе ионов и о длине их свободного пути сразу разъяснило вопрос.

Наше общее впечатление о главах, посвященных Фарадеем разрывному разряду: Фарадей стоял на неверном пути, и это не могло быть иначе: огромная работа, продолжавшаяся более чем полвека, и теоретическая и экспериментальная, должна была расчистить дорогу новым плодотворным воззрениям корпускулярной теории электричества. Фарадей жил в период первоначального накопления знаний в этой области — в период, когда приходилось доказывать, что газы не мешают проводимости, а создают своим присутствием эту проводимость. И все же достаточно сравнить эти главы его книги, эту пытлившую, целеустремленную работу, с такой книгой, как, например, «Электрические световые явления» Лемана, чтобы увидеть, что и через

шестьдесят лет после Фарадея нужно было быть Фарадеем, чтобы распутаться в этом лабиринте громадного, сваленного в беспорядочную кучу материала.

Нам остается разобрать два раздела: о конвективных токах и об отношении к токам пустоты. Впрочем, и эти отделы представляют относительно малый интерес по сравнению, например, с тем, что мы видели по этим же вопросам в нашем отделе «Общих соображений». По вопросу о *конвективном* токе (1562—1612) Фарадей не высказывает никаких принципиальных взглядов; его цель — проследить возможно подробнее явление электрического ветра, возникающего около острия и вообще при больших напряженностях около поверхности. По его мнению, здесь дело заключается в зарядении частиц воздуха (или другого газообразного или жидкого диэлектрика) и последующем отталкивании заряженной частицы от поверхности проводника. Конечно, мы и в *этом* случае отрицаем теперь зарядение частиц (т. е. молекул) воздуха. Кстати, и механизм зарядения Фарадей предполагает (1564 и сл.) излишне сложный, так как, по-видимому, не может себе представить, чтобы поляризованная частица — значит, заряженная двумя одинаковыми, но противоположными зарядами, — могла притягиваться к индуцирующему проводнику; между тем, в неравномерном поле такое притяжение, несомненно, будет иметь место. Фарадей правильно полагал, что частиц, несущих заряды, в струе электрического ветра, сравнительно немного, но они увлекают за собой прочие частицы просто трением (1592).

По вопросу о роли *пустоты* (1613—1616) Фарадей определенно не высказывается — в его время «хорошей» пустоты получить еще не умели. Поэтому основной вопрос о том, проводит ли совершенная пустота, остается без ответа. Мы имеем здесь еще раз категорическое заявление Фарадея, что он не отрицает действия на расстоянии, а утверждает только, что всякая промежуточная среда, заполняющая пространство между двумя взаимодействующими зарядами, принимает участие в явлении и в значительной части берет на себя роль передаточного механизма (1616)

Ж. КОНТАКТНОЕ ДЕЙСТВИЕ АНОДНО-ПОЛЯРИЗОВАННОЙ ПЛАТИНЫ

(шестая серия, пп. 564—660)

Эта серия, по собственному признанию Фарадея, не имеет совсем прямого отношения к основному предмету «Исследований» (564), но она важна как предостерегающая от возможных погрешностей при вольтаметрических измерениях. Фарадей открыл, что выделяющийся в вольтаметре гремучий газ может, при надлежащих условиях, вновь образовать воду и исчезнуть для измерений. Он обнаруживает, что явление происходит под действием платины, служащей полюсами (567). Из двух полюсов особенно энергично действует анод; действие, однако, наблюдается и у катодно-поляризованной пластинки (588), хотя и в более слабой степени. В конце концов выясняется, что поляризация не при чем, и можно достигнуть того же эффекта тщательной очисткой платиновой пластинки — химическими операциями или даже простым прокаливанием (590). Явление прослеживается количественно, в смысле сохранности его; находятся вещества, мешающие соединению водорода с кислородом (окись углерода, этилен и др.); это мешающее действие в разных случаях имеет различную природу (638—655).

Серия особенно интересна в связи с тем, что дает Фарадею повод высказать свое воззрение — воззрение того времени — на молекулярные явления. Как мы уже упоминали выше, он, хотя и антиатомист, говоря о газе, рассуждает об его частицах; давление газа объясняется отталкивательными силами, действующими между его частицами (626). Со стороны твердого тела частицы, по мнению Фарадея, такого отталкивания не испытывают, так как Дальтон своим законом показал, что частицы одного газа ведут себя в другом, как в пустоте; тем менее должно, по мнению Фарадея, проявляться взаимное отталкивание между частицами газа и совершенно чуждым ему твердым телом. Он высказывает предположение, что оно, во всяком случае, раза в два меньше, чем внутри газа. А при уменьшении отталкивательных сил должно легче происходить сгущение и свя-

занное с ним *действие массы*. К этому и сводится весь эффект катализа.

Конечно, ныне все эти теории уже не имеют права на существование. Но самое открытие каталитического действия анодно-поляризованной платины остается. Направленность и убедительность эксперимента стоят во всей главе на обычной фарадеевской высоте.

3. О ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ БАТАРЕЯХ

(восьмая серия, пп. 875—965 и 989—1047; десятая серия, пп. 1119—1160)

Главное исследование Фарадея о природе и происхождении электродвижущей силы произведено значительно позже и помещено в III томе «Исследований». То, что мы находим здесь, — в некотором роде предварительные соображения. Фарадей уже здесь решительным образом становится на сторону ученых, видящих источник электродвижущей силы в химическом действии между металлом одного из полюсов и жидкостью элемента. Чтобы доказать, что соприкосновение металлов здесь не при чем, он ставит ряд изумительных опытов, которые для нас, не участвующих в горячих спорах начала прошлого столетия, не оставляют никаких сомнений (880 и сл.). Он доказывает это и на безводных парах, с расплавленным электролитом в качестве жидкости. Он развивает много глубоких мыслей о тождественности и эквивалентности процессов, происходящих, с одной стороны, в элементе, с другой — в вольтметре. По его мнению, единственное различие здесь заключается в том, что в первом случае силы сродства (они же — электрические притяжения) определяют направление процесса и тока, а в другом протекающий ток, преодолевая силы сродства, действует в противоположном им направлении.

Фарадей полагает, что перед прохождением тока электролит находится в состоянии особого напряжения. Он его ищет, пользуясь поляризованными лучами, но все его попытки остаются тщетными. Тогда, невольно играя словами, он обращается к

электрическим методам обнаружения напряжения, уже электрического, разумеется. Он находит, что сближение проводов производит искру — лучшее доказательство напряжения. Мы видим, что амперовский термин «электричество напряжения» волею Фарадея в некоторый логический скачок. Искру уже его современники при описываемых им условиях считали невозможной; разность же потенциалов на полюсах батарей обнаруживал гораздо ранее Вольта.

Если бы Фарадей был прав в своем допущении напряжения в электролите, то при замыкании мы имели бы только кратковременный ток смещения; разряжаться в виде постоянного тока оно, конечно, не могло бы.

Все же споры о происхождении электродвижущей силы легко разрешаются энергетическими соображениями: для того, чтобы произвести ток, со всеми его тепловыми, химическими, механическими и прочими действиями, явно необходима постоянная затрата энергии; такой затраты не производится при простом соприкосновении двух металлов.

Далее развивается ряд соображений относительно действия уже не отдельных элементов, а целой батареи. В настоящее время все они представляются чрезвычайно элементарными (989—1006). Затем дается ряд практических указаний (1034—1047), также не слишком большого значения.

В десятой серии описывается новая батарея, построенная Фарадеем.

Нет надобности подробно разбирать эту главу, но можно смело рекомендовать познакомиться с ней всякому, кто хочет составить себе ясное представление об эпохе Фарадея, о ничтожных масштабах технического оснащения лабораторий того времени и о том громадном балластном труде, который ложился на плечи ученого для выхода из этого положения. Вряд ли Фарадей потратил на существо своих гениальных открытий больше времени, чем на изоляцию проводов, наматывание катушек, постройку, исследование и усовершенствование батарей и на уход за ними.

До сих пор мы ничего не говорили о Фарадее как о человеке. Но и в этом отношении его книга дает нам материал первостепенного значения.

Фарадей предстает нам здесь как живой — этот гениальный самоучка, прошедший путь от места ученика переплетного заведения до положения увенчанного всеми академиями мирового ученого; преодолевший гигантским, неутомимым трудом недостаток своей подготовки и опрокинувший мировоззрение, выработанное лучшими представителями тогдашней цеховой науки; подготовивший нынешним государствам и народам возможность электрификации промышленности, — совершивший все это и сохранивший до конца весь юношеский энтузиазм и неугасаемую веру в дело науки, своей науки, а вместе с тем всю ту скромность, с которой он впервые постучался в двери лаборатории Королевского института. И расставаясь с ним в конце нашего очерка, мы убеждены, что и себя лучше всего описал великий ученый, когда написал в предисловии к «Исследованиям» скромные строки: «Другие части настоящих исследований также удостоились чести критического внимания различных ученых; всем им я весьма обязан; некоторые из их поправок я указал в подстрочных примечаниях. В других случаях я не почувствовал силы этих замечаний: время и прогресс науки наилучшим образом решат вопрос. Я не могу, положа руку на сердце, сказать: я желал бы, чтобы обнаружилось, что я ошибался. Но я горячо верю, что развитие науки в руках ее многочисленных и ревностных современных исследователей даст такие новые открытия и такие общеприложимые законы, что оно и меня заставит думать, что все то, что написано и пояснено в настоящих «Экспериментальных исследованиях», принадлежит к уже пройденным этапам науки».

Т. П. Кравец

ПРИМЕЧАНИЯ РЕДАКТОРА ¹



Первая серия

1. Электричество напряжения — статическое. Термин этот заимствован Фарадеем у Ампера.

2. Ампер (Андре Мари, 1775—1836), — член Парижской Академии Наук, один из величайших электродинамистов. Его сочинения по электродинамике (на русском языке) готовятся к печати. Биографию его см. в «Воспоминаниях» Араго. — Араго (Доминик Франсуа Жан, 1786—1853) — неприменный секретарь Парижской Академии Наук, физик и астроном; работал преимущественно в области оптики; друг Френеля; ранее открытия электромагнитной индукции Фарадеем нашел, что диск, поставленный около вращающегося магнита, увлекается последним во вращение (см. ниже, пп. 81—139). — Электричество напряжения — см. примечание к п. 1.

6. Пример того, как Фарадей сам изготовляет изолированный провод и катушки.

7. Двойные медные пластинки (часто встречаются и в дальнейшем), как видно из последующего, представляют собой такое расположение, при котором отрицательный цинковый полюс для увеличения активной поверхности и уменьшения сопротивления помещен между двумя медными пластинками, соединенными параллельно и служащими положительным полюсом.

10. Двойные медные пластинки — см. п. 7. Обращает на себя внимание способ количественной характеристики тока.

22. Проба на язык, на искру, на нагревание проволоочки или древесного угля считается для убедительности обязательной. См. ниже третью серию, пп. 265—360.

¹ Цифра, стоящая перед каждым примечанием, указывает параграф, к которому оно сделано. Ссылки в примечаниях, как и в тексте Фарадея, также указывают параграфы.

24, 25. Обыкновенное электричество — статическое.

26. Электричество напряжения — см. п. 1.

38. 41. Полюс с меткой — северный полюс магнита. См. примечание автора к п. 44.

44. Найт (д-р Говин Н., умер в 1772 г.) — врач, интересовавшийся магнетизмом; изготовил большой магнит, впоследствии оказавшийся во владении Королевского общества. — Кристи (по всей вероятности, Сэмюэль Гентер Кристи, 1784—1865) — врач и магнитолог.

56. К упомянутым в п. 22 пробам здесь прибавляется проба на содержание лягушечьих лапок. — Даниэль (Джон Фредерик, 1790—1845) — член и секретарь Королевского общества; оставил многочисленные работы в области инструментальной метеорологии (гигрометр Даниэля); в 1836 г. опубликовал описание элемента, носящего его имя. — Здесь Фарадей впервые отмечает значение продолжительности индущирующего действия.

57. Молль (Геррит, 1785—1838) — профессор в Утрехте. Занимался вопросами скорости звука, электромагнетизма и пр. — Генри (Джозеф, 1797—1878), знаменитый американский ученый, независимо от Фарадея также занимался индукцией. Его большой электромагнит описан в *Silliman's Journal* за 1831 г. — О Тен-Эйке не удалось получить указаний.

60, примечание. Гашетт (Жан Никола Пьерр, 1769—1834) — профессор *Ecole Normale*, член Парижской Академии. Постоянный корреспондент Фарадея (см. ниже пп. 139, 379); работал также и в области электрохимии.

68. Любопытное указание, что напряжение разомкнутой батареи выше, чем при установившемся токе.

69. Намагничиванию приписывается, как известно, заметная продолжительность.

71. Обращает на себя внимание указание зависимости сопротивления от размеров проводника.

72. Исходя из представления об электротоническом состоянии, Фарадей предугадывает необходимость явлений самоиндукции, но пока не умеет их обнаружить. См. ниже девятую серию, пп. 1048—1118.

73. Теперь бы мы сказали, что во всех телах под влиянием электромагнитной индукции появляется электрическая напряженность; в проводниках она сопровождается током проводимости. — Обратим еще внимание на утверждение Фарадея, что электростатическая индукция связана со всей массой вещества, а не с отдельными частицами; впоследствии, как мы увидим, он развивает противоположные воззрения.

76. Волластон (Уильям Гайд, 1766—1828; собственно, его имя произносится Ууллстен; мы оставили привычное русское написание) — крупнейший химик; открыл родий и палладий, изобрел ковкую платину, изобрел так называемые волластоновские нити, криофор и многое другое. Считается автором закона кратных отношений в химии.

77. Марианини (Стефано Джованни, 1790—1866) — профессор в Модене, автор многочисленных работ по электрохимии, теории гальванической батареи и аккумуляторов, магнетизму и др. — Риттер (Йоганн Вильгельм, 1776—1810) — член Баварской Академии, автор многочисленных трудов по электрохимии и теории гальванических элементов; в 1803 г. открыл заряжающиеся элементы (аккумуляторы). — Ван Бек (Альберт, 1787—1856) — член Амстердамской Академии; писал по вопросам магнетизма, электрической искры, влияния металлов друг на друга при соприкосновении и др. — Де ля Рив (Огюст Артюр, 1801—1873) — профессор в Женеве, весьма плодовитый автор, был в дружбе и переписке с Фарадеем. Много работал и в области электрохимии.

78. Опыт Ампера понят Фарадеем неверно; описывая его не по первоисточникам, он впадает в ряд ошибочных утверждений. См. примечание после п. 379.

79, примечание. Френель (Огюстен Жан, 1788—1827) — гениальный оптик, создатель волновой оптики, учения о поляризации света и распространении света в кристаллах. Здесь Фарадей имеет в виду едва ли не единственную работу Френеля по электричеству: «Об опытах, имеющих целью разложение воды посредством магнита» (*Annales de Chimie et de Physique*, XV, 1820). — Берцелиус (Енс Якоб, 1779—1848) — профессор и член Академии в Стокгольме, один из крупнейших химиков своего времени. Ввел пользование химическими формулами. Создал электрическую теорию химического сродства. Написал свыше 200 работ.

80. Гершель (сэр Джон, 1792—1871) — член Королевского общества; наукой занимался как частное лицо, и притом в самых разнообразных направлениях (астрономия, математика, химия); здесь идет речь о работе 1825 г.: «Повторение опытов Араго с магнетизмом при вращении». — Бэббедж (Чарльз, 1792—1871) — одно время профессор математики в Кэмбридже; опубликовал много работ математического содержания; работа на вышеуказанную тему, совместная с Гершелем, является исключением. — Гаррис (впоследствии — сэр Уильям Сноу, 1792—1867); из большого ряда его работ назовем определение относительной электропроводности металлов, исследование о грозах и др.

81. Как было указано выше (примечание редактора к п. 2), опыт Араго был произведен им ранее открытия Фарадеем электромагнитной индукции, но правильно объяснен мог быть только после работ последнего.

82. Уголь в особом состоянии — кокс.

114, 116, 118. Целый ряд правил для определения направления индукционного тока. Ясно огромное упрощение, создаваемое современным векторным исчислением и его операциями векторного умножения и образования «ротации». — В п. 114 Фарадей в первый раз говорит о линиях магнитной

силы, которые сыграли такую исключительную роль в последующем развитии теории и техники.

121. Статьи Фарадея о магнитном вращении собраны в III томе «Исследований».

137. Барлоу (Питер, 1776—1862) — профессор Военной академии в Вульвиче. Написал ряд сочинений по математике, магнетизму (в частности, по магнитной защите), по постройке оптических приборов. Здесь имеется в виду работа: «Временное магнитное действие, индуцируемое в железных телах вращением».

139, примечание автора. Один из немногих случаев, когда Фарадей настойчиво боролся за свой приоритет. См. его статьи в *Philosophical Magazine* за 1832 г., а также его письмо к Гей-Люссаку (1 декабря 1832 г.), как издателю *Annales de Chimie*. Они собраны во II томе «Исследований». — Нобили (Леопольдо, 1784—1835) — профессор во Флоренции, автор многочисленных работ по электрохимии, магнетизму, термо-электричеству; изобрел астатическую стрелку. — Об Антинори мы не могли найти никаких биографических указаний.

Вторая серия

143, 145, 146. Полюс с меткой — см. примечание к п. 38.

147. Интересно предложение измерять возмущения земного магнетизма индуктивными токами, что в последующем было использовано самим Фарадеем.

152. Полюс без метки — см. п. 38.

163. «Силы» здесь вместо «заряды».

164, 166, 168, 172, 173, 175. Полюс с меткой, полюс без метки, полюс земли без метки — см. п. 38 и примечание автора к п. 44.

181. В рассуждениях этого и следующих параграфов упускается, что магнитное поле Земли при её вращении движется вместе с нею и всеми измерительными приборами, вследствие чего ни один из опытов и не должен удаваться.

187. Фокс (Роберт Уэйр, 1789—1877) — фальмутский (в Корнуэльсе) купец; написал несколько научных работ по магнетизму пород, земным токам в них и пр.

188. Легко рассчитать, если принять скорость воды в 5 км-час, что электродвижущая сила в этом опыте должна составлять около семи милливольт.

192. Как известно, ныне полярные сияния отождествляются со свечением под действием катодных лучей, проникающих в атмосферу в *вертикальном* направлении.

193. Результаты опытов, описываемых в следующих параграфах (до п. 200), легко объясняются тем, что во всех проводках, имеющих одинаковые

размеры и одинаковую ориентацию, при равных условиях возбуждаются одинаковые электродвижущие силы. Автору это неясно, так как он вообще не знает, что индуцируются именно электродвижущие силы, а не ток. Отсюда все его недоумения (см., например, 202).

206. Фарадей пользуется здесь схемой в последствии бывшего некоторою время в употреблении дифференциального гальванометра.

213. Во сколько раз проще стало бы рассуждение, если бы воспользоваться законом Ома!

220. В настоящее время мы не думаем, чтобы опыты с униполярной индукцией доказывали «независимость магнетизма» в стержне. См., например, *Handbuch der Elektrizität* Греча, V, стр. 20—28.

222, 226. Полюс без метки — см. п. 38.

231. Здесь автор решительно порывает с своей прежней гипотезой об особом электротоническом состоянии веществ вокруг тока.

238. Гениальное провидение конечной скорости распространения электромагнитных явлений. Только картина при прекращении тока не верна: здесь происходит не стягивание линий к проводу, а распространение от провода линий противоположного направления.

245, 248. Полюс с меткой — см. п. 38.

249. Стёрджен (Уильям, 1783—1850) — сапожник, солдат, артиллерист, преподаватель физики, заведующий музеем в Манчестере; написал ряд работ по электричеству; считается изобретателем электромагнитов, амальгамирования цинка и др.

252. Полюс с меткой — см. п. 38.

256. Фарадей говорит о «вызываемой в проводе силе», но не видит, что это — электродвижущая сила.

257. Это должно значить, что во всех проводах, независимо от их проводимости, при одинаковых размерах, положении и скорости движения, индуцируются одинаковые электродвижущие силы.

259. Здесь некоторою недоразумение, о котором см. п. 181.

Третья серия

265. Кэвендиш (Генри, 1731—1810). Занимался наукой частным образом. Знаменит как автор первого лабораторного определения коэффициента пропорциональности в формуле всемирного тяготения (1798). — Колладон (Жан Даниэль, 1802—1892) — профессор в Париже и Женеве; произвел ряд исследований в области акустики, в том числе определял скорость звука в воде. Одновременно с Фарадеем, но неудачно, пробовал обнаружить индукционные явления. — Дэви (сэр Гемфри, 1778—1829) — президент Королевского общества, знаменитый химик, учитель Фарадея. Главные его труды.

безопасная лампа для углекопов (1828), электрохимическое разложение щелочей и щелочных земель и др. Написал элементарное руководство по химии (1812). Десять томов его трудов издано его братом. — Ритчи (Уильям, умер в 1837 г.) — профессор физики в Лондонском университете и в Королевском институте. Известен его фотометр; ему принадлежит ряд трудов по акустике, электричеству и др.

267. Электричество напряжения — см. п. 1.

269. Обыкновенное (ordinary) электричество — статическое.

270. Двойные медные пластинки — см. п. 7.

270, 271, 274. Обыкновенное (common) электричество — статическое.

274. Фарадей полагает, что *искра*, получаемая от статического источника, так же как дуга объясняется нагреванием изолирующего газа.

280. Здесь опять дуга отождествляется с искрой.

282. Обыкновенное электричество — статическое.

283. Силы (forces) здесь — заряды (в обоих случаях).

284, 286, 288. Обыкновенное электричество — статическое.

289. Савари (Феликс, 1797—1841) — астроном, член Парижской Академии. Автор нескольких трудов по электродинамике.

291. Толщина стекла не сообщается.

292, 293, 301, 304, 305. Разряжающий провод — заземление. В дальнейшем этот термин встречается очень часто.

307, 309, 310. Обыкновенное электричество — статическое.

312, 321. Разряжающий провод — см. п. 292.

328. Пирсон (Джордж, 1751—1828) — врач в Лондоне; оставил ряд работ химического содержания. — Петс ван Трооствик (Адриан, 1752—1837) — амстердамский купец. Ему принадлежит много работ по электричеству, в особенности в сотрудничестве с ван Марумом и Дейманом. — Дейман (Иоганн Рудольф, 1743—1808) — врач в Амстердаме; написал ряд работ химического содержания.

329. Первое по времени упоминание «1-го закона Фарадея».

330, 331, 332, 333. Обыкновенное электричество — см. п. 269.

333. Здесь, повидимому, опять смещение дуги и искры.

335. Обыкновенное электричество — см. п. 269.

336. Бонижоль (Луи, 1796—1869) — механик в Женеве. — Обыкновенное электричество — см. п. 269.

338. Берри (Александр, умер в 1832 г.) — профессор химии. Опубликовал работу о химических действиях атмосферного электричества.

338, 339. Обыкновенное электричество — см. п. 269.

343, 344. О Пиксии и Дункане биографических данных не имеется; Пиксии — конструктор первой «магнито-электрической машины».

346. Ботто (Джузеппе Доменико, 1791—?) — профессор в Турине. Работал по электрохимии, броуновскому движению, фотометрии и др. —

Машинно-электрическое разложение — разложение статическим электричеством.

349. Зеебек (Томас Иоганн, 1770—1831) — член Берлинской Академии Наук. Открыл явление термоэлектричества (1822).

351. Уолш (Джон, умер в 1795 г.) — автор двух работ об электрических рыбах. — Ингенгусс (Ян, 1730—1799) — врач и ученый, по рождению голландец, жил в Англии; опубликовал целый ряд трудов, в том числе и об электрических рыбах. Известен «опыт Ингенгусса» (теплопроводность стержней разного состава). — Дэви (Джон, 1791—1868) — врач и химик, брат сэра Гемфри. — Обыкновенное электричество — см. п. 269.

358. Гумбольдт (Александр, 1769—1859) — знаменитый путешественник и естествоиспытатель, работавший почти во всех областях естествознания. Автор «Космоса». Работа об электрических рыбах относится к 1819 г. — Фальберг (Самуэль, 1755—1834) — врач в Стокгольме, потом инженер; написал несколько научных работ, в том числе об электрических рыбах. — Лесли (сэр Джон, 1766—1832) — профессор сначала математики, а потом физики в Эдинбурге. Известен исследованиями лучистой теплоты. — Брайли (1801—1870) — ученик Фарадея, играет некоторую роль в инцидентах между Дэви и Фарадеем. См. М. Р а д о в с к и й. Фарадей, стр. 53.

360. Об Уаткинсе данных найти не удалось. — Маттеуччи (Карло, 1811—1868) — профессор в Болонье и Равенне; автор большого числа работ по электрофизиологии, фосфоресценции, вращению плоскости поляризации и др. — Линари (или Санти-Линари, 1777—1858) — профессор в Сиене. Писал о животном электричестве.

364. Генли (Уильям, умер в 1779 г.) — лондонский мануфактурный торговец, автор ряда трудов по электричеству. Его электрометр состоит из легкого шарика, подвешенного на нити около заряженного тела. Отклонение шарика, отсчитываемое по расположенной рядом шкале, дает понятие о потенциале.

367. Здесь пропорциональность предполагается между отклонением и общим количеством прошедшего электричества. Это принцип баллистического гальванометра.

368. Правило Гарриса, конечно, неверно. Но Джоул в то время еще не написал своего закона.

371. $60^{\circ} F = 15,6^{\circ} C$. Настоящий параграф (и сл.) особенно типичен для времени, когда электрические единицы еще не были установлены.

377. Первая и не особенно точная и решительная формулировка так называемого «1-го закона Фарадея»; см. седьмую серию.

379, примечание. Демонферран (Жан Батист, 1795—1844) известен как автор «Руководства по динамическому электричеству», на которое и ссылается Фарадей. Данное примечание относится и к п. 78 и к подстрочному примечанию к п. 79.

Четвертая серия

381. Повидимому, Фарадею принадлежит открытие, что лед является непроводником.

384. Двойные медные пластинки — см. п. 7. — Электродвижущая сила могла быть порядка 30—40 вольт.

389. ЭДС от 225 до 300 вольт.

395, 397. Относительно химической терминологии — см. таблицу после текста.

401. Обычная теперь проба со стеклышком.

402. Современные названия веществ — см. таблицу после текста.

404. По современным представлениям, стеклообразные вещества являются переохлажденными жидкостями, вследствие чего при нагревании и размягчении первенствующую роль в увеличении проводимости играет уменьшение вязкости.

410. В настоящее время, в особенности после работ П. И. Вальдена, принимается, что диссоциирующее действие воды при растворении объясняется ее чрезвычайно высокой диэлектрической постоянной. Странным образом Фарадей в п. 1356 тоже говорит о диэлектрической постоянной, но, повидимому, не воды, а солей.

412. Нам теперь известно, что уже в твердом состоянии кристаллы получают при нагревании проводимость, растущую в отношении $e^{-\frac{w}{kT}}$; т. е. необычайно быстро.

413. Для проводимости кристалла требуется: а) произвести работу отрыва иона от его нормального положения; б) преодолевать силы внутреннего трения.

414. См. п. 1341.

416. Такого контрастирования электропроводимости и теплопроводности на самом деле не существует. Наоборот, по закону Видемана-Франца они изменяются во всяком случае симбатно.

423. Батарея могла дать дугу длиной 1 см.

434. См. п. 12. Это свойство является общим и не принадлежит одному сернистому серебру.

435. Это то свойство солей, из-за которого Нернст должен был включить в свою известную лампу накаливаемую током проволоку, что спасало лампу от перекала, но губило ее экономичность.

441. Каньяр де ла Тур (Шарль, 1776—1859) — член Парижской Академии. Изобрел «сирену»; впервые исследовал критическое состояние (1822, 1823); оставил много работ по акустике и др. Здесь Фарадей ссылается именно на эту знаменитую работу Каньяра де ла Тура о критическом состоянии. Только с водой это состояние наблюдаться не могло.

442. Существует мнение, что при критическом состоянии жидким и газообразная фазы друг от друга отличаются (Голицын, Траубе, Тейхнер и др.).

444. Мы различаем теперь электронную и ионную электропроводности.

449. См. наше примечание к п. 444.

Пятая серия

453. Машинное электричество, — разумеется статическое (а не получаемое с помощью динамомашин). Рассуждение о количестве проходящего электричества вполне правильное; оно легко получается, если принять во внимание относительно очень большое внутреннее сопротивление электро-статических источников и очень малое — у гальванической батареи. Фарадей обходится без этой «математики», повидимому, с помощью гидродинамической аналогии.

455, 456, 457. Единственным количественным указанием для прошедшего количества электричества здесь является число оборотов машины, а для количества выделившегося вещества — интенсивность окраски лакмусовой бумажки и пр. (примитивная колориметрия).

461 и сл. Фарадей здесь доказывает (см. полемику ниже в главе III, пп. 477 и сл.), что при разложении вовсе не надо пондеромоторного действия полюсов.

471. Фарадей полагает, что разложение происходит под действием агента, распределенного *внутри* раствора. На современном языке можно было бы сказать: под действием имеющейся в данной точке *напряженности*. Но, с другой стороны, величина и направление напряженности задаются геометрией полюсов. Нечего и говорить, что, по современным представлениям, разложение происходит спонтанно, а напряженность только движет ионы к полюсам.

472. Нам уже пришлось упоминать (410) о роли воды. В настоящее время существует обширный цикл работ по электропроводности и неводных растворов (и расплавленных солей).

475. Вода, в смысле диссоциации растворенных солей, стоит выше всех других растворителей, конечно, вследствие ее высокой диэлектрической постоянной. Фарадей совершенно не представляет себе этой исключительной ее способности.

477. Беккерель (Антуан-Сезар, 1788—1878) — член Парижской Академии, автор нескольких курсов (электричества, электрохимии, физики, магнетизма, земного магнетизма и метеорологии) и многочисленных трудов по соответствующим отраслям науки. Фарадей интересуется главным образом его электрохимическими исследованиями.

481. Гротгус (Теодор, 1785—1822) — крупный землевладелец Виленской губернии; наукой занимался без связи с каким-либо учреждением. Знаменитая гипотеза Гротгуса опубликована им в 1806 г. Сверх того, написал несколько десятков других работ. Покончил жизнь самоубийством. Фарадею нравится представление Гротгуса, что полюсы являются центрами действующих сил.

483. Конечно, утверждение, что силы больше около полюсов и равны нулю в середине раствора, ошибочно. Вопрос решается изображением силового поля в растворе между полюсами.

485. Риффо де Гэтр (Жак Ренэ Дени, 1754—1826) — директор пороховых и селитряных заводов в Париже; написал несколько трудов по химии. — Шомпре (Николя Морис, 1750—1825) — консул в Малаге, член призового суда; затем удалился в частную жизнь; написал (отчасти в сотрудничестве с Риффо) несколько работ по электрохимии. Непонятно указание этих авторов, что сила тока может быть различна в разных сечениях.

486. Био (Жан Батист, 1774—1862) — член Парижской Академии. Необыкновенно плодовитый автор; участник градусного измерения для определения метра; работал преимущественно в области оптики. Соавтор известного закона Био и Савара. Фарадей ссылается почти исключительно на курс физики, им написанный.

499. Ошибочно утверждение, что при кулоновских силах не может быть равномерного поля; при близких и параллельных пластинках поле должно быть равномерным.

500. Ошибочно как предположение Дэви, так и утверждение Фарадея, что оно неминуемо следует из предложения о кулоновских силах.

511. Франклин (Бенджамин, 1706—1790) — переплетчик в Бостоне, типограф, издатель, начальник почты, защитник американской независимости, государственный деятель. Изобретатель громоотвода и многих электростатических опытов.

516. Ток в одном направлении может быть сильнее, чем в другом, если подвижности ионов различны; разлагающее действие одного не может быть больше, так как, по нашим представлениям, вещество вовсе не разлагается, а только выделяется током.

517. Знаменитое место, цитируемое Гельмгольцем. Об его значении — см. в нашей статье.

523. Бертолле (Клод Луи, 1748—1822) — знаменитый химик, член Парижской Академии; создатель так называемого учения Бертолле, или, иначе, учения о химическом равновесии. Не совсем понятно, почему закон действия масс должен был потерять применимость в газовой среде. Неверно также, что в газах прекращается и «действие электричества».

524. Фарадей пишет, что перенос вещества невозможен за те пределы, за которыми частица не находит другой частицы, могущей с ней соеди-

няться. Это справедливо в том смысле, что каждый элемент объема шугри электролита нейтрален, и частица, если она несет на себе положительный заряд, должна найти себе в этом элементе другую, несущую такой же отрицательный.

525—530. В примечании к п. 675 Фарадей указывает, что он впоследствии отказался от тех выводов, которые содержатся в этих параграфах.

546, 547. Фарадей, повидимому, не представлял себе, что «распущенное» в растворе золото имеет коллоидальное строение. Но в настоящее время подробно изучено явление *электрофореза* таких крупных частиц к тому или иному полюсу, смотря по знаку заряда частиц. То же относится и к другим коллоидам.

550. Все эти явления вполне понятны с точки зрения теории электролитической диссоциации.

552. Мы не знаем такого электролиза серной кислоты; см. также п. 681. В *гидридах* мы имеем, повидимому, случай, когда H служит анионом.

553. Фарадей находится здесь под влиянием теории Берцелиуса; по представлению последнего, $H_2SO_4 = H_2O^+ + SO_3^-$, и именно эти-то составные части и суть, по мнению Фарадея, ионы. Теперь мы думаем, что $H_2SO_4 = H_2^{++} + SO_4^{--}$. Совершенно так же, по Фарадею, $2KNO = K_2O^+ + H_2O^-$, вместо нынешнего $KNO = K^+ + NO^-$.

Шестая серия

569, 570. Пневматическая ванна — сосуд, в наполненном виде опрокинутый открытым концом под поверхностью жидкости.

570. Двойные медные пластинки см. п. 7.

596. Пневматическая ванна — см. п. 569.

609. Доберейнер (Иоганн Вольфганг, 1780—1849) — профессор в Иене, выдающийся химик. — Дюлонг (Пьер Луи, 1785—1838) — член Парижской Академии Наук, выдающийся химик («способ Дюлонга и Пти» для определения расширения ртути, «закон Дюлонга и Пти» относительно атомной теплоемкости и мн. др.). — Тенар (Луи Жак, 1777—1857) — член Парижской Академии Наук. Автор большого количества физических и химических трудов, сделанных отчасти в сотрудничестве с Гей-Люссаком, Био и Дюлонгом.

612. Удовлетворительная теория поверхностных явлений явилась значительно позднее, главным образом трудами Гиббса. См., например, Р а й д л. Химия поверхностных явлений.

613. Фузиньери (Амброджио, 1773—1853) — врач, профессор физики в Виченце. Опубликовал ряд трудов по электричеству и по явлениям на

поверхности металлов. Приводимые в этом параграфе мысли очень похожи на современные представления о мономолекулярных пленках на поверхности твердых и жидких тел.

622. Беллани (Анджело, 1776—1852) — миланский каноник и ученый; занимался самыми разнообразными физическими и химическими вопросами.

625. Фарадей сводит явление катализа к закону действия масс, предполагая, что на поверхности твердых тел газы сгущаются; см. также п. 630.

626. В основе газового состояния Фарадей предполагает взаимное отталкивание частиц. На границе с твердым телом оно будто бы пропадает. — Дальтон (Джон, 1766—1844) — знаменитый создатель атомной теории. Первый составлял таблицу атомных весов. Здесь Фарадей ссылается на его закон о давлении газовой смеси. Из кинетической теории газов этот закон выводится с легкостью; лишенный опоры в атомных представлениях, он вырождается в довольно мистические высказывания, что «один газ для другого является пустотой». С нынешней точки зрения, газ должен сгущаться на поверхности, если для выхода из поверхностного слоя частицы должны совершать положительную работу.

629. Голл (сэр Джемс, 1761—1832) — президент Эдинбургского королевского общества. Знаменитым является его исследование о диссоциации углекислоты (1805).

657. Зародыш в растворе должен быть изоморфен с кристаллизующимся веществом. Интересна для 1833 г. мысль о сходстве веществ в растворе с газообразными.

657. О называемом в примечании д-ре Генри никаких сведений собрать не удалось.

659. Грем (Томас, 1805—1869) — профессор в Глазго. Знаменит своими работами по диффузии и осмосу; автор разделения веществ на кристаллоидные и коллоидные. — Митчел (повидимому, Уильям, 1793—1863) — учитель в Нантэккете (Америка), квакер; написал несколько работ, преимущественно астрономического и метеорологического характера.

660. Ван Марум (Мартин, 1750—1837) — голландский ученый. Писал об электричестве и его физиологических действиях, об электростатических машинах и др. — Иелин (Юлиус Конрад, 1771—1826) — член Мюнхенской Академии Наук; опубликовал ряд трудов по электричеству, магнетизму, по тепловым измерениям и пр.

Седьмая серия

662. По словам Тиндаля, одним из упомянутых здесь друзей был д-р Хьюэлл (Whewell); см. Faraday as a Discoverer, стр. 54.

664. О всех упоминаемых здесь веществах подробнее говорится ниже; см. п. 680 и сл.

672. Любопытно, как здесь хлориды, иодиды и окиси противопологаются солям.

675. Борная кислота — см. п. 664. — В примечании высказывается уверенность Фарадея, что растворение не способствует переносу ионов.

676. Проводимость каким-то образом противопологается ионизации; особенно интересно замечание относительно воды. См. также п. 677.

679. О затруднениях с этим правилом — см. в нашей статье.

680. Кислотами здесь называются соответственные ангидриды.

681. Данные относительно серы, появляющейся на катоде, сомнительны или указывают на вторичную реакцию, что далее Фарадей и признает.

686. Важно для понимания уровня развития ионной теории проводимости сто лет назад.

690—696. Рассматривается ряд исключений из устанавливаемой закономерности и ищется возможное объяснение.

706. Здесь опять говорится о разложении воды.

736. Первая попытка установить единицу количества электричества: это то количество, которое выделяет 0,01 куб. дюйма (0,164 куб. см) водорода при нормальных условиях.

739. Название вольта-электрометр не удержалось, так как электрометрами принято называть приборы для измерения потенциала; впрочем, в 1838 г. сам Фарадей предложил более короткое название — вольтметр (см. примечание автора к п. 565).

741. Гей-Люссак (Луи Жозеф, 1778—1850) — член Парижской Академии. Знаменитый химик; написал свыше ста работ в разных областях химии. «Закон Гей-Люссака» относится к 1808 г.

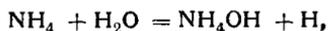
743. Вода, по современным представлениям, не разлагается, но ее элементы как результат вторичной реакции выделяются в стехиометрических количествах, откуда видно, что этот признак не всегда позволяет решить вопрос о характере реакции.

744. Указание о появлении на аноде азота (при электролизе едкого аммония) сомнительно. Относительно выделения металлов из солей Фарадей резко становится здесь на точку зрения берцелиусовской теории. См., однако, п. 746 и примечание к нему автора.

746. Гизингер (Вильгельм, 1766—1832) — богатый горнопромышленник и ученый, член Академии Наук в Стокгольме.

747. См. наше примечание к п. 743.

748. По современным представлениям, электролизуется $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, с выделением на катоде NH_4 , на аноде SO_4 ; вторичные реакции должны давать на катоде



а на аноде:



в количествах, отвечающих эквивалентному количеству воды.

749—776. Те же возражения возникают относительно почти всех примеров, приводимых в этих параграфах. Только в случае соляной кислоты, хлоридов, иодидов, иодисто-водородной кислоты, синильной кислоты, цианидов, железно-синеродной кислоты и ее солей, роданистой кислоты и ее солей, короче, для не содержащих кислорода кислот и их солей взгляды Фарадея приближаются к современным.

789—793. То, что Фарадей называет протохлоридом олова, приписывая ему формулу SnCl , по нашим представлениям, есть SnCl_2 ; атомный вес олова — около 118; бихлорид — наше четыреххлористое олово SnCl_4 . Обращает на себя в п. 791 внимание курьезная точность вычисления.

794—804. Относительно формул упоминаемых здесь соединений — см. таблицу в конце текста.

824. Ныне точные значения эквивалентов принимаются: для H — 1,008; для O — 8,000; для Cl — 35,46; для J — 126,92; для Sn — 59,4; для Pb — 103,60.

826. С этим предположением никак нельзя согласиться: если бы ион находился в связи с другим, то, может быть, соседство третьего, подобного второму, было бы при некоторых условиях необходимо; но для свободного иона $F = eE$, и поскольку v пропорционально F , движение *должно* происходить.

827, 828. Не обязательно движение обоих ионов; скорости их, во всяком случае, могут быть весьма различны.

830. Мы видели, что это правило не соблюдается.

831. О воде см. выше, п. 743.

834. Ангидриды упоминаемых здесь кислот не суть ионы, так как, например, серная кислота H_2SO_4 распадается не на H_2O и SO_3 (как думал Фарадей), а на H_2 и SO_4 .

846. В таблице везде вместо кислот стоят их ангидриды: SO_3 , SeO_3 , NO_3 , ClO_3 и т. д.; катионами являются то водород и металлы, то безводные основания: аммоний, кали KO, натр NaO, известь CaO, магнезия MgO и пр.

853. Электричество напряжения — статическое. — Уитстон (сэр Чарльз, 1802—1875) — фабрикант музыкальных инструментов, затем профессор физики в Лондоне. Изобретатель электромагнитного телеграфа. Его опыт измерения скорости электричества (1834) повел к работам Физо и Фуко. Он же автор «мостика Уитстона» (1843) и изобретатель стереоскопа.

856. Вольта (Алессандро, 1745—1827). Его знаменитейшие работы: электрофор — 1775 г.; электроскоп с конденсатором — 1782 г.; эвдиометр — 1790 г.; «вольтов столб» — 1800 г.; «вольтов ряд» — 1801 г.

857. Здесь намек на бушевавший в начале XIX в. спор о происхождении электродвижущей силы в месте контакта двух металлов или в жидкости элемента.

860. Обыкновенное электричество — статическое.

863. Здесь Фарадей впервые пользуется для источника электродвижущей силы термином электромотор. Ввиду непривычности этого термина в таком значении, мы позволили себе заменить его, как указано выше. В дальнейшем Фарадей пользуется им неоднократно, особенно в девятой серии. Во времена Фарадея термин электромотор в этом значении применялся довольно часто; укажем для примера, что Марианини пользуется им почти во всех своих сочинениях.

864. Пневматическая ванна — см. наше примечание к пп. 569, 570.

866. Опять чрезмерная точность арифметического вычисления.

870. В настоящее время эти представления кажутся наивными.

871. «Силы» здесь означают «заряды».

Восьмая серия

875. См. наше примечание к п. 857.

895. Сопrotивление разложению — мы говорим о затрате работы на разложение.

897. Гейр (Роберт, 1781—1858) — врач в Пенсильвании, много работал в области физики и химии; описал новую батарею, калориметр и др.

905. Мы теперь думаем, что происходит электролиз не воды, а растворенного цинкового купороса, и электродвижущая сила создается за счет соединения Zn и иона SO_4 .

906. Здесь имеет место повышение электродвижущей силы пары вследствие уничтожения поляризации положительного полюса водородом (последний поглощается азотной кислотой); см. ниже, п. 913.

911. Здесь «сопротивление» опять — обратная э. д. с.

913. Мы различаем теперь «разложение» (т. е. вид ионизации) от выделения ионов у электродов; первое не требует никакой работы — оно происходит спонтанно; второе, действительно, требует преодоления некоторой э. д. с., т. е. совершения некоторой работы; в начальные моменты, когда эта поляризационная э. д. с. еще не установилась, работа равна нулю.

915. Мы имеем здесь один из немногих случаев, когда Фарадей еще при жизни встретил резкие возражения; получение искры от одного элемента, действительно, невозможно.

919. См. наше примечание к п. 905. Фарадей все время находился под впечатлением, что соль = окись + ангидрид, почему и разделяет две стадии: 1) образование окиси и 2) последующее, как он пишет, образование соли.

921. Существенно, чтобы присутствовали не атомы, а ионы кислорода.

922. Соединение Pt с Zn — не ионное, вследствие чего никаких передвижений зарядов здесь не происходит. См. ниже, п. 924.

925—926. Мы уже неоднократно говорили о неправильности представления Фарадея о серной кислоте. См. также нашу статью.

944—945. См. наше примечание к п. 905.

956—957, 958. Искра при данных условиях получаться не могла. Электрическое напряжение может быть обнаружено чувствительным электрометром, что и было сделано Вольтой, построившим для этой цели электроскоп с конденсатором.

961. Электричество напряжения—статическое; противоположные силы—заряды; расчет свободных зарядов — см. также предыдущее примечание.

964. Здесь отсутствует понятие о различной подвижности ионов. Совсем не необходимо движение и того и другого.

970—983. Уже современники Фарадея (в частности де ля Рив) доказали, что электролиты не обладают никакой электропроводностью, кроме электролитической.

992. Отклонение пропорционально току; последний не зависит от числа элементов только при очень большом внутреннем сопротивлении; аргумент Фарадея здесь не вполне понятен, если вообще верен.

993. «Перемены» (alternations) здесь значит: «элементы».

994. Любопытное выражение относительно напряжения: «что бы оно собой ни представляло».

995. Сила тока $= \frac{E-E'}{R}$, где E' — противодействующая электродвижущая сила поляризации; в такую простую форму облакает закон Ома это неопределенное соображение.

999. Кемп (Кеннет, 1806—1843); впервые предложил амальгамирование цинка в гальванических элементах, точнее пользование в качестве электрода жидкой цинковой амальгамой.

1003—1005. Ослабление действия, повидимому, объясняется иначе, а именно — поляризацией электродов. Изменение серной кислоты в цинковый купорос не должно отражаться на действии батареи.

1017. См. примечание к п. 970 и сл.

1021. Здесь действует деполаризация электрода кислородом азотной кислоты.

1037. См. выше п. 970.

1040. Перемен = элементов.

Девятая серия

1049. Дженкин — ученик Фарадея; по словам Тиндаля, рано оставил, под влиянием отца, занятия наукой. — В этой серии Фарадей неизменно

пользуется термином «электромотор» для обозначения источника тока. См. примечание редактора к п. 863. Мы везде в нашем переводе пишем: «Источник электродвижущей силы»; это относится к пп. 1052, 1059, 1060, 1061, 1064, 1065, 1066, 1070, 1071, 1072, 1074, 1076, 1078, 1079, 1080, 1084, 1086, 1087, 1090, 1091, 1096, 1097, 1098, 1101, 1102. — Проба на удар, на язык, на конечности лягушки!

1072. Отчетливо указание, что «количество» (сила тока) увеличивается при возрастании «напряжения» (электродвижущей силы).

1073. Теперь мы знаем, что электродвижущая сила самоиндукции равна $-L \frac{dI}{dt}$, так что она, конечно, зависит и от силы первоначального постоянного тока.

1074. Здесь Фарадей ясно представляет себе различие между «электростатической» и «вольтаической» искрой, хотя и не сводит этого различия к относительной величине разности потенциалов.

1075. Яркость искры определяется не затрачиваемой работой EIt , а силой тока I .

1077. Здесь впервые в истории в связи с электричеством приведено понятие об инерции и количестве движения. Но эта аналогия сейчас же берется назад.

1214. Разделенных сил — зарядов; индуктивной силе — заряде.

1215. Об индукции по кривым линиям — см. примечание к п. 1165 и соответствующее место нашей статьи.

1218. Природы и силы — знака и величины заряда; сила последнего — количество.

1224. Сила была равна — заряд был равен; «индуктивная сила» — индуктивный заряд. — Здесь впервые мы находим упоминание о боковом давлении силовых линий друг на друга.

1225. Индуктивная сила — заряд.

1230. Никольсон (Уильям, 1753—1815) — автор нескольких работ по математике и физике. В старых учебниках описывается ареометр Никольсона.

1244. С электрической силой — зарядом; неделимость электрических сил — зарядов.

1245. Часть сил — зарядов; электрические силы находятся — заряды. Часть положительной силы — заряда.

1246. Из нескольких сил — зарядов; положительную силу — заряд.

1247. Силы проникают — заряды.

1250. Силу прибора II — заряда; сила неспособного передаваться электричества — количество.

1258. Для силы — заряда; в том же значении сила во всем параграфе.

1260. Сила — заряд.

1261. Силы — заряда.
 1262. Уменьшения силы — заряда.
 1269. Разряжается сила — заряд.
 1284. Силы — заряда.
 1285 и сл. Как мы знаем, для газов можно положить

$$\frac{\varepsilon - 1}{d} = \text{const.}$$

Величина $\varepsilon - 1$ настолько мала, что при степени точности приборов Фарадея замечена быть не могла.

1287. Говоря о существующей якобы у воздуха способности своим давлением удерживать заряд на поверхности проводника, Фарадей имеет в виду взгляды Био и Пуассона, с которыми он не согласен. См. ниже, п. 1377.

1288. Температуры, конечно, по Фаренгейту. См. таблицу в приложении № 1. — Сила — заряд.

1291. Маслородный газ — этилен (C_2H_4); азотистый газ — азотно-вая окись N_2O_3 .

1295. Сила — заряд.

1299. О том, что индукция предшествует току, см. двенадцатую серию, замечания к ней в нашей статье. — Чрезвычайно странное определение «напряжения» (что, на языке Фарадея, равносильно потенциалу).

1300. Двум электрическим силам — зарядам.

1302. Индуктивной силы — заряда.

1304. Такое распределение силы — заряда.

1305. Расположения и состояния сил — зарядов.

1312. Зингер (Джордж Джон, 1786—1817) — автор нескольких трудов по электрохимии, тепловому действию тока и т. п. — Беннет (Абрагам, 1750—1799) — священник; занимался электрическими изысканиями и построил чувствительный электроскоп.

Двенадцатая серия

1323. Сила проникла — заряд проник. — Индукция (поляризация) рассматривается как первая стадия проводимости.

1324. Мы теперь полагаем, что в одном и том же веществе могут одновременно существовать поляризация и проводимость, но они не являются проявлением одного и того же начала. Во всем последующем как в этой серии, так и в тринадцатой и четырнадцатой, Фарадей проводит это неправильное, с современной точки зрения, представление.

1326. Зависящем от сил — от зарядов; передавать друг другу свои силы — заряды; теперь мы не признаем передачи зарядов от молекулы к молекуле.

1328. Уитстон — см. примечание к п. 853.

1329. Продвижение силы — заряда; передавать свои силы — заряды.

1331. Силы покинули — заряды. — Согнутая в дугу проволока действует своей самоиндукцией.

1335. См. наше примечание к п. 193.

1336. «Заряженные частицы воздуха» мы теперь отрицаем и замаскируем их ионами; и самостоятельный разряд также производится ионным механизмом. Об опыте Каньяр де ля Тура уже была речь в п. 441 (см. наше примечание).

1338. Передавать свои силы — заряды.

1344. О минимальной интенсивности, необходимой для электролитического разложения — см. в нашей статье.

1346. Передача сил — зарядов.

1347. Соответственное количество силы — заряда; силы соединяются — заряды.

1348. Стабилизация сил — зарядов.

1350. Расположение сил — зарядов; нейтрализация своих сил — зарядов.

1354. См. наше примечание к п. 410.

1355. Напоминаем, что, по мнению Фарадея, электролитом является вода, а добавки к ней почему-то увеличивают электропроводимость. Для ее сил — зарядов; химическую номенклатуру — см. в приложении.

1356. См. п. 1354.

1359. См. наше примечание к п. 412.

1360. Обе силы уничтожаются — заряды.

1364 и сл. Все указываемые здесь простые закономерности хорошо укладываются в рамки теории Тоунсенда, исходящей из представления об ударе ионов.

1366. Индуктивная сила — заряд.

1368. Первоначальной силы — заряда.

1369. Сумма сил — сумма зарядов; совершенно современное представление о силовой трубке, эквивалентное теореме Гаусса.

1370. В конце — одно из немногих определений, которое Фарадей дает «напряжению». См. п. 360.

1374. Рассуждение ошибочно: если острие находится против плоскости, то поле таково же, каким оно было бы между двумя остриями, находящимися на двойном расстоянии острия от плоскости.

1377. Электрические силы — заряды.

1392. Замечательное наблюдение (о нем далее — в п. 1418), легко объясняемое ионизацией, которую искра производит на своем пути.

1393 и сл. Название газов — см. в приложении.

1406. Разряжают силы — заряды.

1418. Некоторое количество силы — электричества.
1421. Электрических сил — зарядов.
1422. Тейлер ван дер Хульст (Питер, 1702—1778) — богатый голландский купец, завещавший свое состояние на устройство музея в Гарлеме.
1434. Между положительной силой частицы и т. п. — зарядом; неверное с современной точки зрения утверждение, что «частица воздуха наэлектризуется».
1435. Сила, накопившаяся в проводнике, — заряд.
1437. Сила у проводника — заряд.
1441. «Воздух... не получает заряда» и далее — см. примечание к п. 1434.
1442. «Частицы... вероятно заряжены очень сильно», — действительно, это суть ионы с большим удельным зарядом.
1443. Равенство двух сил — зарядов; такое же количество отрицательной силы — электричества.
1444. Свечение происходит при ионизации и рекомбинации частиц. Неясно, почему заряд воздуха может распространяться на меньший объект, чем тот, который занят свечением.
1447. Распространение силы — распространение электричества; сила проводника — заряд.
1449. Индукция по кривым линиям — см. примечание к п. 1665 и нашу статью.
1450. То же.
1453. Истечение силы — электричества.
1454. Названия веществ — см. в приложении.
1458. В настоящее время наилучшие условия для свечения констатированы у неона и аргона.
1463. Электрических сил — зарядов.
1464. Индуктивные силы — заряды.

Тринадцатая серия

1491. Электрической силы — заряда.
1493. Электрической силы или сил — заряда или зарядов.
1500. Силы обладают большой интенсивностью — заряды распределены с большей плотностью; впрочем, в этом случае и электрические напряженности выше.
1503. Необоснованная (и неправильная) гипотеза, что поляризация частиц у отрицательного и положительного полюсов при прочих равных условиях различна.
1520. Белли (Джузеппе, 1791—1860) — профессор в Павии; работал в области теплоты и электричества.

1525. Мы теперь не называем электролитов диэлектриками. Различия, наблюдавшиеся Даниелем, связаны, по всей вероятности, с различной степенью поляризации медного электрода в одном и другом случаях.

1537. С современной точки зрения нельзя говорить о зарядении частиц воздуха, но некоторая порция воздуха может получать заряд вхождением в нее ионов соответственного знака.

1539. Накопление электрической силы — заряда.

1547. Мы не могли найти данных о проф. Дунконе и его работах. — Электрические силы — заряды.

1551. Задерживаемая — проходящая через значительное сопротивление.

1552. Количество — подразумевается электричества.

1561. Задерживанием — см. примечание к п. 1551.

1562. Электрических сил — зарядов.

1566. Проводящий шарик ведет себя, как вещество с $\epsilon = \infty$; — превышает силу — заряд. — Шарик не нужно заряжать противоположным зарядом, чтобы притягиваться к заряженной поверхности: достаточно действия индуцированных на нем зарядов.

1572. Части той силы — того заряда; индуцирующие и индуцируемые силы — заряды.

1588. Заряженные частицы воды — см. примечание к п. 1537.

1609, подстрочное примечание. Пипис (Уильям Геследайн, 1775—1856) — один из администраторов Королевского общества. Построил ряд физических приборов. О его роли в биографии Фарадея см., например, у Радовского, I, с., стр. 20.

1612. Положительной и отрицательной сил — зарядов.

1613. Морган (Уильям, умер в 1833 г.) — специалист по страхованию жизни. Опубликовал работу о непроводимости совершенной пустоты (1785).

1615—1616. Фарадей отказывается и здесь говорить о способе передачи электрического действия через пустоту.

1617. Электрических сил — зарядов.

1618. Отчетливое различие двух факторов, определяющих силу тока: электровозбудительной силы и сопротивления; природы электрических сил — электричества.

1621. Количество разрядившейся электрической силы — количество прошедшего по цепи электричества.

1622. Утверждение тождественности механизма электролитического и конвекционного токов.

1623. Заряженные частицы воздуха — см. наше примечание к п. 1537. Сообщать, передавать силы — заряды; сила высокого напряжения — заряд.

1625. Бреге (Абрагам Луи, 1747—1823) — часовщик и механик. Изобрел металлические термометры, счетчики и др. — Пельтье (Жан Шарль Атаназ, 1785—1845) — часовщик, частным образом занимавшийся наукой

(в Париже). Оставил многочисленные труды, в особенности по термоэлектричеству. Открытие «явления Пельтье» относится к 1834 г. — Под «определенностью» теплового действия разумеется, как в химии, постоянство отношения между количеством электричества, прошедшим через цепь, и количеством выделенного тепла. См. по этому же вопросу п. 368 и наше к нему примечание.

1627. Обе силы — электричество обоих знаков; одного тока силы — тока электричества одного знака; одной жидкости — то же. — Обои сил — электричеств обоих знаков. — Ток одной положительной или одной отрицательной силы — электричества одного знака. — Абсолютный заряд — см. наше примечание к п. 1168.

1628. Центры обеих сил — зарядов.

1631. Расходят силу — работу.

1632. Томсон (Томас, 1773—1852) — профессор в Глазго; автор большого числа трудов и руководств по химии. Издавал *Encyclopaedia Britannica*. — Положительной и отрицательной силы — электричества.

1634. Постоянное количество — одну и ту же силу тока. — Тождество электрической силы — одинаковость силы тока.

1635. Эрман (Пауль, 1764—1851) — секретарь Берлинской Академии Наук. Оставил большое количество трудов по различным отделам физики, в том числе и по электрическим явлениям. — Эндрыкс (Томас, 1813—1885) — профессор химии в Бельфасте. Автор многочисленных работ. Знаменито его исследование об изотермах углекислоты (есть русский перевод в серии «Классики естествознания»). — Ом, у Фарадея ошибочно Омс (Георг Симон, 1787—1854) — профессор в Мюнхене и член Баварской Академии Наук. Писал по различным вопросам оптики, электричества и молекулярной физики. Знаменитая работа, содержащая в себе «закон Ома», относится к к 1826 г.

1641. Обыкновенного электричества — статического.

1642. Нечто почти тождественное см. в п. 517. Изложим это определение тока в современных терминах: ток есть нечто неразделимое — некоторое направление силы; в каждом участке его электричества обоих знаков присутствуют в одинаковых количествах. См. также нашу статью, стр. 740.

1646. Порретт (Роберт, 1783—1868) — чиновник в Лондоне. Написал ряд работ химического содержания; открыл электроосмос. — Дютроше (Ренэ Иоаким Анри, 1776—1847) — почетный член Парижской Академии. Известен основными работами в области осмоса и движения пасоки в растениях.

1647. В настоящее время мы объясняем эти явления «сторонними» силами, т. е. силами не электрического происхождения; в данном случае вопрос идет о различной подвижности ионов того и другого знаков.

1648. Соотношений электрических сил — электричеств разного знака.

1649. Уатсон (Уильям, 1715—1787) — аптекарь, врач в Лондоне. Автор ряда работ по электричеству, в том числе первой попытки определить его скорость.

1650. Передача силы — заряда; величина силы является определенной — заряд, переносимый частицами, находится в постоянном отношении к их массе. — Локализовать силу — заряд.

1651. Смещение сил — зарядов. — Предположение о сдвиге при электролизе всей массы воды произвольно и неправильно.

1652. Пулье (Клод Сервэ Матиас, 1790—1868) — член Парижской Академии Наук; известен трудами по актинометрии. Его курс физики переделан и дополнен Мюллером. Ныне это классический, но совершенно заново сделанный курс Мюллера — Пулье.

1653. Эрстед (Ганс Христиан, 1777—1851) — профессор в Копенгагене; автор нескольких десятков научных работ, в том числе обесмертвившего его имя открытия электромагнитных явлений (1820 г.).

1654. Фарадей впервые здесь утверждает (предположительно), что конвективный ток обладает соответственным магнитным действием.

1657. См. предыдущее примечание.

1658. На самом деле никакого «бокового» эффекта линий индукции не существует; последний появляется только при изменении смещения.

1659. Возвращение к представлению об электротоническом состоянии.

1665. Полярные силы — заряды.

Четырнадцатая серия

Подзаголовок: Природа электрической силы или сил — электричества или электричеств.

1667. То же. — Моссотти (Оттавино Фабрицио, 1791—1863) — инженер, астроном и физик в Милане, Англии, Буэнос-Айресе, Кордове и Пизе. Знаменита его работа 1850 г., где выводится так называемая формула Клаузиуса-Моссотти. — Дюфе (Шарль Франсуа, Дюфе де Систерней, 1698—1739). Опубликовал «Шесть мемуаров об электричестве» (1733—1734); автор теории двух электрических жидкостей. — Природу этих сил — природу электричества; каким образом расположены эти силы — заряды.

1668. Силы — заряды.

1669, 1672. По современным представлениям, молекулы как целое не представляют собой проводника. Если они заряжаются, то обязательно элементарным зарядом (положительным или отрицательным) или его кратным. Тогда они превращаются в ионы.

1673. Силы — заряды. Здесь, как и ранее, предполагается, что заряды передаются с одной молекулы на другую.

1674, 1675. Понятие о свободных зарядах отсутствует; одним и тем же полярным зарядам приписываются функции диэлектрические (1761) и металлические (1674); силы — заряды.

1676. Противоположное состояние равной величины — поляризация.

1677. Силу — заряд.

1678. Электрических сил — зарядов.

1679. Силе на индуцирующем шаре — заряду; рассеяние силы — электричества; двух электрических сил — зарядов; обеих сил — видов электричества.

1681. Электрической силы — электричества; обе силы, эти силы — заряды.

1682. Обе силы — заряды; две силы — два заряда.

1683. Противоположной силы — электричества.

1684. Индуктивную силу; характер силы — заряд; заряда.

1686. Снова прежнее утверждение, что разрыв частицы (электролиз) является следствием высокой поляризации; количество силы — электричества.

1687. Развиваемые силы — заряды; Фарадей предполагает, что элементарные заряды так же распределяются по поверхности молекулы, как в молярных явлениях; силы... распределены — заряды.

1691. Измерение силы — заряда; наблюдать силу — заряд; индуктивной силы — заряда.

1694. Индуктивной силы — заряда.

1701. Проводящего индивидуального тела — см. наше примечание к пп. 1669, 1672.

1702. Электрические силы — заряды.

1703. Заряды распределяются не по всей поверхности молекулы, а по ее элементам; это воззрение гораздо ближе к современным, чем то, которое развито в п. 1687. — Атом связан с электрической силой — зарядом.

1704. Напоминаем наши прежние замечания к главе об электролизе: частицы не разрываются электрической напряженностью, а распадаются спонтанно.

1705. Перенос сил — зарядов.

1706. Разрядная сила — переносимый заряд; равновесие сил — нейтральность каждого сечения; передававших силу — заряд.

1707. Количество приносимой силы — электричества. — О правиле, что распадаются на ионы только те вещества, которые содержат элементы в относительных количествах: один эквивалент на один, — см. нашу статью.

1708. Эквивалентные противоположные силы — заряды. Хлорид олова, по современной формуле, есть SnCl_2 ; бихлорид — SnCl_4 ; полярная сила — заряд. Рассуждения о расположении атомов в молекулах не бинарного типа неубедительны.

Раздел 21. Связь электрической и магнитной силы или сил — электричества и магнетизма.

1712. Результат описанных здесь и далее опытов не мог не быть отрицательным вследствие малой величины ($\mu = 1$) для всех тел природы, кроме ферро-магнитных тел. Пара- и диамагнетизм открыты Фарадеем значительно позже.

1720. По всей вероятности, мы имеем здесь первое по времени описание дифференциального гальванометра.

1731. Силы у противоположных концов частиц — электрические массы. — Здесь, как и в нескольких местах ранее, заметны несомненные логические скачки в связи с употреблением термина «сила» в двух различных значениях — заряда и силы.

1733. Против высказываемого здесь предположения о тождестве поперечного сжатия силовых линий с магнетизмом необходимо указать, что второй представляет собой вихревое распределение силовых линий, а первый — безвихревое.

1739. Сил — зарядов.

1741. Сила, которая вызывает местное действие; текущая сила; индуктивные силы; расположением сил; силы кислорода и водорода, сил между кислородом и цинком; величина силы в частице; сила последнего направляется — здесь везде сила — электричество, заряд.

1742. Шенбейн (Христиан Фридрих, 1799—1868) — профессор химии в Базеле. Выдающийся ученый; открыл и исследовал озон; работал над пассивностью железа, по теории гальванического элемента, открыл коллодий и «хлопчатобумажный порох».

1747. Для развития сил — зарядов.

ТАБЛИЦА ПЕРЕВОДА МЕР

Меры длины

Дюймы	Миллиметры	Дюймы	Миллиметры	Дюймы	Миллиметры
1/600	0,042	0,24	6,2	0,52	13,2
1/200	0,13	1/4 = 0,25	6,4	0,525	12,3
1/104	0,24	0,27	6,9	0,55	14,0
1/100	0,25	0,275	7,0	0,56	14,2
1/70	0,36	0,28	7,1	0,58	14,7
1/50 = 0,02	0,51	0,30	7,6	0,59	15,0
1/24	1,06	0,31	7,9	0,60	15,2
1/23	1,10	5/16	7,9	0,61	15,5
1/20	1,27	0,33	8,4	0,615	15,6
1/18	1,4	1/3	8,5	0,62	15,8
1/16	1,6	0,37	9,4	5/8 = 0,625	15,9
1/15	1,7	3/8	9,5	0,035	16,1
1/12	2,1	0,40	10,2	0,64	16,2
1/10	2,5	0,41	10,4	0,645	16,4
1/9	2,8	0,42	10,7	0,65	16,5
1/8	3,2	0,43	10,9	0,66	16,8
0,13	3,3	0,435	11,1	2/3	16,9
0,14	3,6	0,44	11,2	0,67	17,0
0,15	3,8	0,45	11,4	0,68	17,3
1/6	4,2	0,47	11,9	0,69	17,5
0,18	4,6	0,49	12,5	0,695	17,7
3/16	4,8	1/2 = 0,50	12,7	0,70	17,8
1/5 = 0,2	5,1	0,505	12,8	0,72	18,3
0,23	5,8	0,51	13,0	0,73	18,5
0,74	18,8	0,80	20,3	0,90	22,9
3/4 = 0,75	19,1	0,82	20,8	0,93	23,6
0,77	19,6	0,86	21,8	0,96	24,4
0,78	19,8	7/8	22,2	0,965	24,5
0,79	20,1	0,89	22,6	1,000	25,4

Дюймы	Сантиметры	Дюймы	Сантиметры	Дюймы	Сантиметры
1,5	2,67	2,02	5,13	9	23
1,105	2,807	2,3	5,8	10	25
1,15	2,92	2,33	5,93	10,5	26,7
1,2	3,0	2,4	6,1	12	30
1 ¹ / ₄	3,2	2 ¹ / ₂	6,4	12,15453	30,87251
1,27	3,23	2 ³ / ₄	7,0	13	33
1,30	3,30	3	7,6	14	36
1,32	3,35	3 ¹ / ₄	8,3	15	38
1,36	3,45	3,4	8,6	17	43
1,4	3,6	3 ¹ / ₂	8,9	18	46
1 ¹ / ₂	3,8	3,57	9,07	19	48
1,55	3,94	4	10,2	20	51
1,60	4,06	4,4	11,2	24	61
1,65	4,29	5	12,7	25	64
1 ³ / ₄	4,5	6	15,2	29,2	74,2
1,8	4,6	6,5	16,5	29,97	76,13
1,9	4,8	7	17,8	38	97
1,95	4,95	8	20,3	50	127
2	5,1	8 ¹ / ₂	21,6	100	254

Футы	Метры	Футы	Метры	Футы	Метры
1	0,3	36	11,0	132	40,2
2	0,6	40	12,2	155	47,2
3	0,9	42	12,8	166	50,6
4	1,2	45	13,7	200	61,0
5	1,5	46	14,0	203	61,9
6	1,8	48	14,6	208	63,4
8	2,4	49,5	15,08	214	65,2
10	3,1	50	15,2	220	67,1
12	3,7	60	18,3	305	93,0
14	4,3	67	20,4	480	146
16	4,9	79	24,1	500	152
18	5,5	92	28,0	600	183
23	7,0	94,5	28,80	960	293
24	7,3	96	29,3	1500	457
26	7,9	100	30,5	2640	805
28	8,5	114	34,8		
34	10,4	120	36,6		

1 линия = 0,254 миллиметра

1 ярд = 0,914 метра

576 000 миль = 927 000 километров

Меры площади

Кв. дюймы	Кв. сант.	Кв. дюймы	Кв. сант.	Кв. дюймы	Кв. сант.
2	13	7	45	27	174
3	19	14	90	118	360
4	26	15	97	1000	6460
6	39	16	103	1422	9170

4 кв. фута = 0,37 кв. метра

Меры объема

Куб. дюймы	Куб. сант.	Куб. дюймы	Куб. сант.	Куб. дюймы	Куб. сант.
0,4	7	2	33	18,232	298,76
$\frac{1}{2}$	8	2,05	33,6	21	340
0,9	15	3,85	63,1	22,8	37,4
1	16	4,6	75	52	580
1,1	18	8,4	138	100	1,64 литра
1,15	18,9	10,29	168,7	2400	39,4 литра
$1\frac{1}{4}$	21	12,5	205		
$1\frac{1}{2}$	25	14,6			

1 пинта = 0,568 литра

Меры веса

Граны	Граммы	Граны	Граммы	Граны	Граммы
0,49742	0,032233	8,45	0,557	150	9,72
2,3535544	0,1525	12,68	0,822	154,65	10,03
3	0,190	12,92	0,837	163,1	10,57
7,55	0,489	25,25	1,636	486	31,5
		108	7,06		

Унции	Граммы	Унции	Граммы	Унции	Граммы
1	28	$3\frac{1}{2}$	99	4	110
1 фунт =	0,453 килограмма;	20 фунтов =	9,1 килограмма		
30 " =	13,6	2000 фунтов =	910		

Температура

°F	°C	°F	°C	°F	°C
0	-17,8	52	11,1	212	100
40	4,4	60	15,6	260	126,7
50	10,0	200	93,3		

ТАБЛИЦА ХИМИЧЕСКИХ ОБОЗНАЧЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ И СОЕДИНЕНИЙ,
УПОМИНАЕМЫХ ФАРАДЕЕМ

Название		Формула		Эквивалент		Примечание
современное	у Фарадея	современная	у Фарадея	современный	у Фарадея	
Водород		H	H	1	1	
Кислород		O	O	16	8	
Вода		H ₂ O	HO	18	9	
Хлор		Cl	Cl	35,5	35,5	Так же у всех галлоидов
Соляная кислота		HCl	HCl	36,5	36,5	Так же у всех галловодородных кислот
Азот		N	N	14	14	
Синерод (циан)		CN	CN	26	26	Так же для всех щелочных металлов
Калий		K	K	39,2	39,2	
Натрий		Na	Na	23,5	23,5	
Кальций		Ca	Ca	41	20,5	Так же для всех щелочно-земельных металлов
Известь (негашеная)		CaO	CaO	57	28,5	То же
Сера		S	S	32	16	
Серный ангидр.	Серная кислота	SO ₃	SO ₃	80	40	
Сульфат калия	Сульфат кали.	K ₂ SO ₄	KO·SO ₃	114,4	87,2	
Азотный ангидрид	Азотная кислота	N ₂ O ₅	NO ₅	108	54	
Нитрат натрия	Нитрат натрия	NaNO ₃	NaO·NO ₃	85,5	85,5	

УКАЗАТЕЛЬ ИМЕННОЙ

- Ампер* 2, 3, 38, 53, 58, 64, 67, 78,
79, 82, 129, 289, 379, 1113,
1603, 1653, 1659
- Антинори* 139, 348, 360
- Араго* 2, 4, 81, 82, 83, 119, 120,
125, 127, 129, 130, 131, 137,
138, 183, 193, 249, 254, 255,
261, 289, 1653
- Барлоу* 137, 160, 169
- ван Бек* 77
- Беккерель* 477, 745, 781, 965, 1625,
1635, 1647, 1652
- Беллани* 622
- Белли* 1520, 1521
- Беннет* 1312
- Бертолле* 523
- Берцелиус* 79, 401, 660, 696, 703,
746, 757, 870, 959, 1739
- Био* 486, 487, 1349, 1377, 1379,
1560, 1635
- Бонижоль* 336, 337
- Ботто* 346, 360
- Бреге* 1625
- Брэйли* 358
- Бэббедж* 80, 82, 127, 130, 137,
138, 183, 193, 211
- Бэрри* 338, 341, 342
- Воластон* 76, 265, 309, 310, 311,
327, 331, 336, 337, 339, 346,
355, 356, 471, 897, 1039, 1744
- Вольта* 856, 1008
- Гаррис* 80, 130, 139, 183, 193,
211, 215, 287, 344, 353, 360,
368, 1287, 1305, 1332, 1339,
1357, 1363, 1367, 1370, 1371,
1375, 1380, 1396, 1407, 1408,
1409, 1448, 1625
- Гашетт* 60, 139, 346, 379, 491,
513, 514
- Гей-Люссак* 741, 1136, 1151, 1154,
1158
- Гейр* 897, 1123, 1129, 1132, 1143,
1150, 1636
- Генли* 364
- Генри* 57, 113
- Генри д-р* 657
- Гершель* (сэр Джон) 80, 82, 87,
127, 130, 137, 138, 183, 193,
211
- Гизингер* 746, 757
- Голл* (сэр Джемс) 629
- Гротгус* 481, 483, 485, 487, 499,
500, 515, 1347, 1349
- Грэм* 659
- Гумбольдт* 358
- Дальтон* 626, 657, 852
- Даниэль* 56, 208, 344, 1525
- Дейман* 328
- Де ля Рив* 77, 379, 489, 490, 507,
514, 515, 543, 546, 660, 681,
686, 755, 863, 998, 1033, 1035,
1040, 1349, 1355, 1625, 1626,
1635, 1637, 1640, 1646, 1653,
1742
- Демонферран* 376
- Дженкин* 1049

- Джонсон* 1547, 1632
Доберейнер 609, 610, 611, 619, 636
Дункан 344
Дэви (Джон) 351, 356, 360, 398
Дэви (сэр Гемфри) 265, 266, 274, 275, 351, 354, 355, 432, 471, 472, 473, 476, 482, 483, 484, 485, 487, 500, 542, 550, 611, 703, 746, 757, 778, 857, 925, 941, 943, 965, 1004, 1033, 1035, 1113, 1339, 1349, 1603, 1608, 1609, 1613, 1625, 1635, 1653, 1655, 1656, 1744, 1745
Дюлонг 609, 611, 612, 618, 636, 637
Дютроше 1646
Дюфе Э. 1667
Зебек 349
Зингер 1312
Иелин 660
Ингенгусс 351, 358
Каньяр де ла Тур 441, 1336
Кемп 999, 1355
Колладон 265, 289, 305, 365
Кристи 44, 83, 127, 137, 160, 211, 1642
Кулон 1170, 1180, 1181, 1183, 1186, 1218, 1234, 1253, 1308, 1314, 1331, 1565
Кэвэндиш 265, 281, 324, 326, 351, 359, 1165, 1320, 1334, 1667
Лесли (сэр Джон) 358, 1422
Линари 360
Марианини 77, 660 1033, 1040
ван Марум 660, 1422, 1448
Маттеуччи 360
Мицчель 659
Молль 57, 113
Морган 1613
Моссотти 1667
Найт 44
Никольсон 1230
Нобили 139, 348, 1351, 1408
Ньюмен 1133
Ом 1635
Пельтье 1625
Петс ван Трооствик 328
Пиксии 343, 346
Пипис 1609
Пирсон 328, 337
Порретт 1646
Пуассон 1165, 1320, 1377, 1379, 1667
Пулье 1652
Риттер 77, 660, 1033, 1035, 1040, 1048
Ритчи 265, 368, 1180, 1626, 1655
Риффо 485, 489, 507, 508, 512
Савари 289
Секстон 1118
Стерджен 249, 863, 999
Тейлер 1422, 1448
Тенар 609, 611, 612, 618, 636, 637, 728, 741, 1136, 1151, 1154, 1158
Тен-Эйке 57
Томсон 1632
Уаткинс 360
Уатсон 1649
Уитстон 853, 1328, 1330, 1333, 1417, 1427, 1433, 1438, 1484, 1649, 1652
Уолш 351, 358
Фальберг 358
Фокс 187, 192
Франклин 511, 1667
Френель 79, 379
Фузньери 613, 615, 622, 1379
Шенбейн 1742
Шомпре 485, 489, 507, 508, 512
Эндрьюс 1635
Эпинус 1165, 1667
Эрман 1635
Эрстед 1653

УКАЗАТЕЛЬ ПРЕДМЕТНЫЙ *

- Абсолютный заряд* материи 169
— электричества в материи 852, 861, 873
- Адгезия жидкостей к металлам 1038
- Азот*, его влияние на молнию 1464
—, искра в нем 1422, 1463
—, кисть в нем 1458
—, направляется и к тому и к другому полюсу 554, 748, 752
—, положительные и отрицательные кисти в нем 1476
—, положительный и отрицательный разряд в нем 1512
—, свечение в нем 1534
—, темный разряд в нем 1559
— является вторичным продуктом электролиза 746, 748
- Азотная кислота* благоприятствует возбуждению тока 906, 1138
— благоприятствует прохождению тока 1020
— наилучшее средство для возбуждения батареи 1137
— образуется в воздухе искрой 324
—, природа ее электролиза 752
- Активная батарея, общие замечания о ней 1034, 1136
- Амальгмированный цинк* в батарее 1001
—, его изготовление 863
—, его польза 863, 999
—, его свойства 1000
- Аммоний*, природа его электролиза 748
—, его раствор — плохой проводник 554, 748
- Ампера опыты над индукцией 78, 255, 279 *прим.*
- Анионы*, во всей цепи 963
—, их действие в гальванической батарее 924
—, их определение 665, 824
—, их таблица 847
—, направление их переноса 962
- Анод, его определение 663
- Араго магнитное явление* в принципе подобно электро-магнитным вращениям 14
—, его природа 81, 120
— не обусловлено прямой индукцией магнетизма 128, 138, 215, 243, 248

* Черта (—) обозначает непосредственно предшествующие слова, напечатанные курсивом. Цифрами указываются соответственные параграфы, иногда вместе со следующими за ними.

- Араго магнитное явление* обусловлено индуцированными токами 119, 248
—, объяснение направления движения 121
—, объяснение результатов Бэббеджа и Гершеля 127
— получается помощью электромагнитов 129
—, причина отсутствия действия при отсутствии движения 126
— производится только проводниками 130, 215
—, элемент времени в нем 124
Араго опыт в том виде, который ему придал Стерджен, 249
Атмосфера, шары огненные в ней 1641
Атмосферное электричество, его химическое действие 336
Атомов число, определяемое по электрохимическому эквиваленту, 851
Атомы материи 869, 1703
—, их электрическая сила 856, 860
Ацетат кали, его электролиз 749
Ацетаты, их электролиз 774
Барлоу вращающийся шар, объяснение магнитных действий 137, 160
Батареи гальванические, сравнение их свойств 1126
Батарея гальваническая, азотная кислота для нее является наилучшей 1137
— Гейра 1123
—, ее возбуждение кислотой 880, 926, 1137
—, — растворами сернистых соединений 943
—, — щелочью 931, 934, 941
Батарея гальваническая, ее местная сила 1120
—, ее природа 856, 989
—, ее сила происходит не от контакта 887, 915
—, ее устройство 989, 1001, 1121
— из многих элементов 989
—, *кислота для нее* 1128, 1137
—, —, ее применение 925
—, напряжение ее тока 909, 994
—, напряжение циркулирующего в ней электричества 990, 993
—, необходимость в ней электролита 921
—, общее действие, производимое соединенными средствами, 989
—, общие замечания о ней 1034, 1136
—, одновременные разложения с ее помощью 1156
—, окисление цинка 919, 944
—, *пластины*, их близость 1148
— —, их величина 1154
— —, их загрязненность 1145
— —, их относительный возраст 1146
— —, их погружение 1150
— —, их число 1151
— получаемые, с ней практические результаты 1136
—, пользование в ней металлическим контактом 893, 896
—, применение в ней амальгированного цинка 999
—, причина необходимости в ней электролиза 858, 923
—, происхождение ее силы 878, 916
—, состояние металла и электролита перед контактом 946
—, увеличение ее напряжения 905, 989

- Батарея гальваническая, уменьшение ее силы** 1035
- , — *вследствие* адгезии жидкости 1003, 1036
- , — исчерпания ее зарядки 1042
- , — неравномерности пластинок 1045, 1146
- , — особого состояния металла 1040
- *усовершенствованная* 1001, 1006, 1120
- , —, ее недостатки 1132
- , —, ее преимущества 1132
- , —, ее сила 1125, 1128
- , —, ее устройство 1124
- химическое происхождение ее силы 879, 916, 919, 1741
- , циркулирующая в ней сила 858, 1120
- , циркулирующее в ней количество электричества 990
- , чистота ее цинка 1144
- Беккерель, полученные им важные вторичные результаты** 745, 781
- Беррио, разложение тел атмосферным электричеством** 338
- Берцелиус, его взгляд на горение** 870, 959
- Био, его теория электро-химических разложений** 486
- Боковое направление индуктивных сил тока** 26, 1108
- Боковые силы тока** 1653, 1708
- Бонижоль разлагал вещества атмосферным электричеством** 336
- Борная кислота является дурным проводником** 408
- Виннокаменная кислота, природа ее электролиза** 775
- Висмут, его отношение к магнито-электрической индукции** 139
- Вода, великий электролит** 924
- , ее влияние при электрическом разложении 472
- , ее *возбуждающее действие* в чистом виде 944
- , — подкисленной 880, 926, 1137
- , — подщелоченной 931, 934, 941
- , ее *прямая проводимость* 1017, 1159, 1355
- , — постоянна 984
- , ее разложение тонкими проводками 327
- , ее электролиз — *определенный* 732, 785, 807
- , задерживание ею тока 1159
- , количество электричества в ее элементах 853, 861
- направляется то к одному, то к другому полюсу 553
- , необходимое для нее электролитическое напряжение 968, 981, 1017
- , полюсы из нее 494, 533, 558
- текучая, токи в ней 190
- электролизуется в простой цепи 862
- , электрохимическое разложение против нее 494, 532
- Водород и кислород соединяются под действием губчатой платины** 609
- платиновых пластинок 570, 605
- Водород, кисти в нем** 1469
- , *положительные и отрицательные* кисти в нем 1476
- , — разряды в нем 1514
- Возбуждение трением** 1744
- химическим действием 878, 916, 1739

- Возбуждение* электрическое 1737
- Воздух* горячий разряжает гальваническую батарею 271, 274
- , *его заряд* 1173
- , — *посредством* кисти 1434, 1441
- , — — свечения 1537, 1543
- , *его* изолирующая способность и проводимость 441, 1332, 1336, 1362
- , *его* притяжение к поверхностям 622
- , *его* разрежение облегчает разряд 1375
- , индукция в нем 1208, 1215, 1284, 1362
- , конвекционные токи в нем 1572, 1576, 1581
- наэлектризованный 1443
- , *положительные и отрицательные* искры в нем 1485
- , — кисти в нем 1467, 1472, 1476
- , — свечения в нем 1526, 1530
- , полюсы, состоящие из него, 455, 461, 559
- разреженный, кисти в нем 1451, 1456
- , разрывной разряд в нем 1359, 1406, 1425, 1526
- , темный разряд в нем 1548
- , удерживание им электричества на проводниках 1377, 1398
- , *удельная индуктивная способность его* 1284
- , — не изменяется с температурой и давлением 1247, 1288
- , электрохимические разложения в нем 454, 1623
- Воссоединение* самопроизвольное газов [выделившихся из] воды 566
- Волластон о разложении* воды остриями 327
- Волластон о разложении* посредством обыкновенного электричества 309
- Вольтметр 704
- Вольта-электрическая индукция 26
- Вольта-электрометр* 704, 736
- , *его* показания посредством водорода 734
- , — кислорода 735
- , — кислорода и водорода 736
- , *его* разные виды 707, 734
- , *испытание его при изменении* его жидкости 727
- , — *его* напряжения 723
- , — *его* электродов 714, 722
- , крепость применяемой в нем кислоты 728, 733
- , разлагающаяся в нем жидкость, вода 706, 728, 732
- , способ употребления 737
- Вращающаяся* пластинка. См. Араго явление
- Вращающийся шар Барлоу* магнетен 164
- , направление токов в нем 161, 166
- , объяснение его действия 137, 160, 169
- Вращение земли причиняет магнито-электрическую индукцию 181
- Время 59, 68, 124, 1248, 1328, 1346, 1418, 1431, 1436, 1498, 1612, 1641, 1730
- Вторичные электрические результаты* 702, 742, 748, 777
- служат мерой электрического тока 843
- Выделение* одной электрической силы невозможно 1175
- электричества 1162, 1737

- Выделение элементов на полюсах, почему, 535
- Газы* в смеси, отношение между их частицами 625
- , искры в них 1421
- , их *изолирующая способность* 1381, 1507
- , — не одинакова 1395, 1508
- , их проводимость 1336
- , их растворимость в некоторых случаях электролиза 717, 728
- , их смеси, влияние на них платиновых пластинок 571
- , их *удельная индуктивная способность* 1283, 1290
- , — у всех одинакова 1292
- , их упругость 626, 657
- , кисти в них 1454
- , образовавшиеся из воды, их самопроизвольное соединение 566
- , особое для каждого влияние на кисти и искры 1463, 1687
- , *положительные и отрицательные кисти в них* 1475
- , — обнаруживают различия 1476
- , положительный и отрицательный разряд в них 1393, 1506, 1687
- , разрывной разряд через них 1381
- Гальваническая батарея*, ее природа 875, 989
- , замечания о ней 1034, 1136
- , практические результаты с ней 1136
- усовершенствованная 1001, 1119
- , См. Батарея гальваническая
- Гальваническая искра* без контакта 915, 956
- предосторожности 958, 1074
- Гальваническая цепь*, ее направление 663, 925
- , ее определение 282, 511
- , ее *отношение* к соединяющемуся кислороду 921, 962
- , — к переносимым элементам 923, 962
- , — к соединяющейся сере 943
- зависит не от соединения окиси с кислотой 925, 933
- образуется окислением цинка 919, 930
- , отношение тел в ней 962
- , происхождение ее 916, 1741
- , усиление ее напряжения 905, 990
- * *Гальванические цепи простые* 875
- , разложение ими 897
- Гальванические цепи соединенные, или батарея 989
- Гальванический разряд, положительный и отрицательный 1524
- Гальванический ток 1617. См. Ток электрический
- Гальванический элемент*, его электричество 875
- зависит от химического действия 872
- , отношение в нем кислоты и щелочи 927
- , различные виды 856 *прим.*
- , См. Батарея Гальваническая
- Гальваническое разложение 450, 660. См. Разложение электрохимическое
- Гальваническое электричество*, выделение им тепла 276
- , его искра 280
- , его магнитная сила 277
- , его напряжение 268, 275

- Гальваническое электричество*, его физиологические действия 279
 —, его химическая сила 278
 — *разряжается* горячим воздухом 271, 274
 — — острями 272
 —, рассмотрение его общих свойств 268
 — тождественно с электричеством, получаемым другими путями, 268, 360
- Гальванометр*, действие на него обыкновенного электричества 289, 366
 —, точное измерение электричества 367 *прим.*
- Гаррис об индукции в воздухе 1363
- Гашетт, его взгляды на электрохимическое разложение 491
- Горный хрусталь, индукция через него 1692
- Градус измерения электричества, его предложение 736
- Графитовые полюсы для хлоридов 794
- Гротгус, его теория электрохимического разложения 481, 499, 515
- Гэйра гальваническая батарея 1123, 1132
- Давление воздуха удерживает электричество, объяснение факта 1377, 1398
- Даниэль о размерах гальванических полюсов 1525
- Даты некоторых фактов и публикаций 139 *прим.*
- Движение* наперерез магнитным линиям
 —, *проводника и магнита относительно* 114
- Движение проводника и магнита относительно* не необходимо 218
 — существенно для магнито-электрической индукции 39, 217, 256
 Движущийся магнит имеет электрические свойства 220
- Де ла Рив*, его теория электрохимического разложения 489, 507, 514, 543
 —, о теплоте на электродах 1637
- Деление заряда индуктивным прибором 1208
- Дженкин, удар с одной парой пластинок 1049
- Дифференциальный индуктометр 1307
- Диэлектрики*, их важность при электрических действиях 1666
 —, их определение 1168
 —, их особые электрические действия 1296, 1398, 1423, 1454, 1503, 1560
 —, их отношение к статической индукции 1296
 —, их природа определяет свойства кистей 1455
 —, их состояние при индукции 1369, 1679
- Доберейнер о соединениях, производимых платиной, 609, 610
- Дэви*, его теория электрохимического разложения 482, 500
 — ртутные конусы, конвекционные явления 1603
 — электрохимические воззрения 965
- Дюлонг и Тенар о соединениях с помощью платины и твердых тел 609, 611
- Естественное свойство электролитического напряжения 987

- Естественный стандарт для направления тока 663
- Железо**, медь и сера в цепи 943
- Железо проявляет одновременно магнитные и магнито-электрические свойства 138, 254
- Животное электричество*, его громадные количества 359
- , его магнитная сила 354
- , его физиологические действия 357
- , его химическая сила 355
- , искра 358
- , напряжение 352
- , развитие им тепла 353
- , рассмотрение его общих свойств 351
- тождественно с другими видами электричества 351, 360
- Жидкие полюсы для конвекции 1581
- Жидкие тела, не являющиеся проводниками, 405
- Жидкости, их прилипание к металлам 1038
- Закон** вольта-электрической индукции 26
- магнито-электрической индукции 114
- проводимости новый 380, 394, 410
- Замечание об электрическом возбуждении 1737
- Замечания о действующей батарее 1034, 1136
- Заряд* абсолютной материи 1169
- , *влияние на него* расстояния 1303
- , — формы проводников 1302
- , — воздуха 1173
- , *производимый* кистью 1434, 1441
- Заряд, производимый* свечением 1526, 1537, 1543
- всегда представляет собой индукцию 1171, 1177, 1300, 1682
- находится на поверхности проводников — почему? 1301
- остаточный Лейденской банки 1249
- , потеря вследствие переноса 1569
- , разделение его в индукционных приборах 1208
- свободный 1684
- скипидара 1172
- удаляется с хороших изоляторов 1203
- частиц воздуха 1564
- Зарядка химическая батареи* слабая и истощенная 1042, 1143
- хорошая 1137
- Земля, естественная магнито-электрическая индукция в ней 181, 190, 192
- Земная магнито-электрическая индукция* 140
- , *производимые ею электрические токи* 141, 150
- , — в земле 173
- , — во вращающейся пластинке 149
- , — во вращающемся шаре 160
- , — в спиралях 148
- , — с железом 141, 146
- , — с магнитом 147
- , — в уединенном проводе 170
- является причиной северных сияний 192
- Земные токи электрические 187
- Измерение** удельной индуктивной способности 1307, 1690
- Измерение электричества* вольтметром 704, 736, 739

- Измерение электричества* выделенным металлом 740, 842
 — гальванометром 367 *прим.*
 —, градус его 736, 738
 — обыкновенного и гальванического 361, 860, 1652
Изолирующая способность различных газов 1388, 1395, 1507
Изоляторы жидкие хорошие 1172
 — и проводники, их отношение 1328, 1334, 1338
 —, их испытание на проводимость 1255
 — лучшие проводят 1233, 1241, 1245, 1247, 1254
 — твердые хорошие 1254
Изоляция 1320, 1359, 1361
 — в жидких и твердых телах 1403
 — в металлах 1328, 1331, 1332
 — в различных газах 1381, 1388
 — — различна 1395
 —, ее зависимость от температуры воздуха 1307, 1380
 —, ее отношение к индукции 1324, 1362; 1368, 1378
 —, ее природа 1321
 — есть выдерживание индукции 1324
 — *зависит от* диэлектрики 1368
 — — индукции 1368
 — — плотности воздуха 1365, 1375
 — — расстояния в воздухе 1303, 1364, 1371
 — — формы кондукторов 1302, 1374
 — и проводимость не различаются по существу 1320, 1326, 1336, 1338, 1561.
Индуктивная сила токов боковая 26, 1108
Индуктивная сила токов, ее природа 1113, 1660, 1663, 1709
Индуктивная способность удельная 1167, 1252
Индуктивной силы линии 1231, 1297, 1304
 —, их боковое направление 1231, 1297, 1304
 —, их отношение к магнетизму 1411
 — указываются кистью 1449
 — часто искривлены 1219, 1224, 1230
Индуктометр дифференциальный 1307, 1317
Индукция магнитная 255, 1658, 1710
 — и магнито-электрическая, их различие 138, 215, 243, 253
 — посредством промежуточных частей 1663, 1710, 1729, 1735
 — через неподвижные тела 1712, 1719, 1720, 1735
 — — движущиеся тела 1715, 1716, 1719.
Индукция магнито-электрическая 27, 58, 81, 140, 193, 1709. См. Магнитные явления Араго.
 — вольта-электрическая 26
 — электролитическая 1164, 1345, 1702, 1740
Индукция статическая 1161
 — в пространстве 1614
 —, ее исключительное действие 1681
 —, ее отношение к возбуждению 1178, 1740
 —, — к другим электрическим действиям 1165, 1178
 —, — к заряду 1177, 1299
 —, — к изоляции 1324, 1362, 1368, 1678
 —, — к напряжению 1178, 1362

- Индукция статическая, ее отношение к проводимости* 1320
- , — к разрывному разряду 1362
 - , — к разряду 1319, 1323, 1362
 - , — к электролизу 1164, 1343
 - , ее теория 1165, 1231, 1295, 1667, 1669
 - *зависит от* расстояния между проводниками 1303
 - — роли ограничивающих поверхностей 1483
 - — формы кондукторов 1302
 - , заряд есть ее частный случай 1171, 1177, 1300
 - , поддержание ее напряжения 1362
 - *по кривым линиям* 1166, 1215, 1679
 - — *через* воздух 1218, 1449
 - — — другие газы 1226
 - — — серу 1228
 - — — скипидар 1227
 - — — шеллак 1228
 - , общие результаты ее исследования 1295
 - представляет собой действие смежных частиц 1165, 1231, 1253, 1295, 1450, 1668, 1679
 - представляет собой существенную общую электрическую функцию 1178, 1299
 - простирается только на непроводники 1298, 1324, 1338
 - состоит в полярности частиц 1298, 1670, 1679
 - *через* воздух 1217, 1284
 - — все тела 1331, 1334
 - — кристаллы 1689
 - — металлы 1329, 1332
 - — пустоту 1614
 - — различные газы 1381, 1395
 - — шеллак 1228, 1255, 1308
- Индукция тока на самого себя* 1048, 1109
- в двойном проводе 1096
 - в двойных спиралях 1096
 - в длинном проводе 1064, 1068, 1092, 1118
 - в коротком проводе, действия в нем 1067
 - в спирали 1053, 1061
 - в электромагните 1056, 1060
 - , *действие* замыкания 1101, 1106
 - , — размыкания тока 1060, 1081, 1084, 1087
 - , — кратковременно 1070, 1091, 1100
 - , направление сил — боковое 1108
 - не причиняет длительного изменения в токе 1071
 - не производится инерцией 1077
 - , общие принципы действия 1093, 1107
 - , отделение индуцированного тока 1078, 1089
 - , прибор для опытов 1052
 - , причина заключается в проводнике 1059, 1070
 - , *производимые действия*: искра 1060, 1064, 1080
 - , — накаливание проволоки 1081, 1104
 - , — удар 1060, 1064, 1079
 - , — химическое разложение 1084.
 - , сравнение провода и спирали 1065
- Индукция удельная* 1167, 1252, 1307
- *воздуха* 1284
 - неизменна 1287, 1288
 - *газов* 1283, 1290
 - всех одинакова 1292

Индукция удельная известных жидких непроводников 1280

—, постановка задачи 1252

—, разрешение задачи 1307

— серы 1275

— спермацета 1279

— стекла 1271

— шеллака 1256, 1269

Индукция электрических токов 6,

34, 232, 241, 1048, 1089, 1101,

1660, 1718

— во вращающихся пластинках 85, 240

— в различных металлах 193, 202, 211, 213

— в текущей воде 190

— действует через непроводники 1719, 1722, 1735

— — проводники 1719, 1721, 1735

—, индуцированный ток, его направление 26, 232

—, —, его напряжение в различных проводниках 183, 193, 201, 211, 213

—, —, его продолжительность 19, 47, 89

—, — не получается при разряде Лейденской банки 24

—, — проходит через жидкости 20, 23

—, —, результаты Ампера 78, 255, 379 прим.

— при замыкании главного тока 10, 238, 1101

— при приближении 18, 236

— при размыкании главного тока 10, 17, 238, 1087, 1100.

— при увеличении расстояния 19, 237

Индукционный прибор 1187

—, особые действия его 1233

Индукционный прибор предосторожности 1194, 1199, 1213, 1232, 1250

—, разделение заряда 1208

—, удаление заряда 1203

—, удержание заряда 1205, 1207

—, укрепление стержня 1190, 1193, 1200

Индукцируемые поверхности 1483

Индукцирующие поверхности 1483

Иодид калия, испытание химического действия 316

— свинца, его электролиз 802, 818

Иодиды в растворе, их электролиз 769

— расплавленные, их электролиз 802, 813

Иодисто-водородная кислота, ее электролиз 767, 787

Ионы, их таблица 847

— не могут переноситься одни 542, 547, 826

—, что такое? 665, 824, 833, 834, 849

Искра 1360, 1406

Искра электрическая в азоте 1422, 1463

— в атмосфере, или молния 1464, 1641

— в водороде 1422

— в воздухе 1222

— в газах 1388, 1421

— в газообразной соляной кислоте 1422, 1463

— в жидкостях 1424

— в кислороде 1422

—, влияние на нее диэлектрика 1395, 1402

—, — размеров кондукторов 1372

—, — разряднения воздуха 1375

—, — формы кондукторов 1302, 1374

- Искра электрическая* в светильном газе 1422
- в углекислоте 1422, 1463
 - гальваническая без металлического контакта 915, 956
 - гальванического электричества 280
 - , ее незаметная продолжительность 1434
 - , ее путь 1407
 - , ее свет 1553
 - , ей предшествует индукция 1362
 - животного электричества 358
 - , изменения ее длины 1381
 - , кисть и свечение родственны 1533, 1539, 1542
 - магнито-электрическая первая 32
 - магнито-электричества 348
 - облегчает разряд 1417, 1553
 - образует в воздухе азотную кислоту 324
 - обыкновенного электричества 333
 - от обыкновенного и гальванического электричества, отожествление 334
 - от одной гальванической пары 1050
 - отрицательная 1393, 1467, 1482, 1484, 1502
 - переходит в кисть 1448
 - положительная 1393, 1448, 1467, 1482, 1484, 1502
 - почему не прямолинейна? 1568
 - , предосторожности 958, 1074
 - разветвленная 1420, 1448
 - , сопровождающие ее темные участки 1547, 1632
 - , стремление к повторяемости 1392
- Искра электрическая*, термо-электричества 349
- , условия ее [образования] 1360, 1370, 1406, 1409, 1553
- Искры, ожидаемое их взаимное притяжение 1412
- Исландского шпата кристаллы, индукция через них 1695
- Испарение 657
- Источник электричества в гальванической батарее* 875
- есть химическое действие 879, 916, 919, 1741
- Кали ацетат, природа его электролиза 749
- Калия иодид электролизуется 805
- Камера изолированная и наэлектризованная 1173
- Катионы*, направление их переноса 962
- находятся в обращении во всей цепи 963
 - , описание 665, 824
 - , таблица их 847
- Катод, описание 663, 824
- Кемп, его цинковая амальгама 999
- Кислород и водород соединяются под действием* губчатой платины 609, 636
- — других металлов 608
 - — платиновых пластинок 570, 605, 630
 - , искра в нем 1422
 - , кисти в нем 1457
 - , *положительные и отрицательные* кисти в нем 1476
 - , — ряды в нем 1513
 - , растворимость его при электролизе 717, 728
- Кислота азотная* лучше всех 1138

- Кислота азотная* действие различной крепости 1139
 — — образуется в воздухе при искре 32
 — в гальваническом элементе, ее употребление 925
 — — не развивает электричества 925, 933
 — для батареи, ее природа и крепость 1128, 1137
 —, ее перенос 525
 — и щелочь одинаково возбуждают элемент 932
- Кислоты и основания, их отношение в гальваническом элементе* 927, 933
- Кисти электрические* 1425
 — в азоте 1458, 1476
 — в водороде 1459, 1467
 — в газах 1454, 1463, 1476
 — в кислороде 1457, 1476
 — в разреженном воздухе 1451, 1455, 1474
 — в светильном газе 1460, 1476
 — в скипидаре 1452
 — в углекислом газе 1461, 1476
 — в хлористо-водородном газе 1462, 1476
 — доказывают молекулярное действие диэлектриков 1449, 1450
 — зависят от диэлектрика 1455, 1463, 1475
 —, звучание 1426, 1431
 — имеют заметную продолжительность 1437
 —, искры и свечение, их взаимоотношения 1533, 1539, 1542
 —, их анализ 1427, 1433
 —, их вид 1428, 1449, 1451
 —, их получение 1425
 —, их природа 1434, 1441, 1447
 —, их свет 1444, 1445, 1451,
- Кисти электрические, их свет в различных газах* 1446, 1454
 — не зависят от потоков в воздухе 1440
 — не зависят от природы проводников 1454, 1473
 —, необходимое для них напряжение 1446
 — отрицательные 1468, 1472, 1484
 — — высокой частоты 1468, 1491
 — переходят в искры 1448
 — положительные 1455, 1467, 1484
 — положительные и отрицательные в различных газах 1455, 1475, 1506
 — представляют собой перемежающееся явление 1427, 1431, 1451
 —, разветвления 1439
 —, срастание этих разветвлений 1453
 — темные? 1444, 1552
- Классификация тел по отношению их к магнетизму* 255,
 — току 823, 847
- Количество электричества в веществе* 852, 861, 873, 1652
 — в гальванической батарее 990
- Колладон о магнитной силе обыкновенного электричества* 289
- Коллекторы магнито-электрические* 86
- Конвекция* 1562, 1642
 — или конвективный разряд. См. Разряд конвективный
- Кондуктивный разряд* 1320
- Кондукторы для магнито-электричества* 86
 —, их природа не влияет на электрическую кисть 1454
 —, их размеры влияют на разряд 1372

- Кондукторы**, их форма влияет на разряд 1374, 1425
- , *распределение на них электричества* 1368
 - , — *зависит от давления воздуха* 1375
 - , — — *от расстояния* 1364, 1371
 - , — — *от их формы* 1374
 - , — *становится неправильным, при одинаковом давлении* 1378
 - *электролитические* 474
- Контакт металлов**, его применение в гальванической батарее 893
- не является необходимым для искры 915, 956
 - не является необходимым для электролиза 879
- Кривые линии**, по ним идет индукция 1215
- Кристаллы**, индукция через них 1689
- Куб большой наэлектризованный** 1173
- Кубы кристаллов**, индукция через них 1692, 1695
- Кулона электрометр** 1180
- , предосторожности при пользовании им 1182, 1186, 1206
- Лед**, его проводимость 419
- является непроводником для гальванических токов 381
- Лейденская банка**, ее остаточный заряд 1249
- , ее разряд 1300
 - , природа ее заряда 1300
 - , условие ее заряда 1682
- Линии магнитные**, их отношение к динамической индукции 217, 232
- Линии индуктивной силы** 1231, 1304
- Линии индуктивной силы**, их боковые отношения 1231, 1297, 1304
- , их отношение к магнетизму 1411, 1658, 1709
 - обнаруживаются кистью 1449
 - часто искривлены 1219, 1224, 1230
- Магнезии сульфат**, его перенос 495
- , его разложение против воды 494, 533
- Магнетизм**, его отношение к линиям индуктивной силы 1411, 1658, 1709
- , классификация тел по отношению к нему 255
 - , электричество, развиваемое им, 27
- Магнит** вращается один 220, 223
- и движущиеся проводники, их общее отношение 256
 - и пластинки вращаются одновременно 218
 - и ток, напоминание об их взаимоотношении 38 *прим.*
 - и цилиндр вращаются одновременно 219
 - , как мера проводимости 216
 - образуется индуцированным током 13, 14
 - , электричество из него 36, 220, 223
- Магнитная индукция**. См. Индукция магнитная
- и магнито-электрическое действие — разные вещи 138, 215, 243, 253
 - через движущиеся тела 1715, 1719
 - через неподвижные тела 1712, 1719, 1720, 1735

- Магнитная и электрическая силы, их взаимоотношение 118, 1411, 1653, 1658, 1709, 1731
- Магнитное отклонение обычным электричеством 289, 296
- Магнитные действия* гальванического электричества 277
- животного электричества 354
- магнито-электричества 27, 83, 345
- обыкновенного электричества, степень, 288, 367
- термоэлектричества 349
- Магнитные линии, их отношение к индукции 217, 232
- Магнитные силы*, действуют через посредство промежуточных частиц 1663, 1710, 1729, 1735
- *тока* 1653
- — весьма постоянны 1653
- Магнитные тела, их немного 255
- явления Араго, их объяснение 81
- Магнито-электрическая индукция* 27, 58
- , ее закон 114
- земная 140, 181
- , См. Араго магнитные явления
- Магнито-электрические коллекторы, или кондукторы 86
- Магнито-электрические машины* 135, 154, 158
- , индуктивные действия в их проводах 1118
- Магнито-электрические токи* во всех проводниках 193, 213
- длительные 89
- , их направление 114, 116
- , их напряжение 183, 193, 211, 213
- Магнито-электрические токи* кратковременны 30
- проходят через жидкости 33
- Магнито-электричество*, выделение тепла 344
- , его напряжение 343
- , искра 348
- , магнитная сила 345
- , рассмотрение его общих свойств 343 и т. д.
- тождественно с другими электричествами 360
- , физиологические действия 347
- , химическая сила 346
- , См. Индукция магнитная
- Маслородный газ, представляемые им помехи 640, 652
- Материя*, ее абсолютный заряд 1169
- , ее атомы 869, 1703
- , ее новое состояние 60, 231, 242, 1114, 1661, 1729
- Машина* электрическая, выделение ею электричества 1748
- магнито-электрическая 135, 154, 158, 1118
- Медь, железо и сера в цепях 394
- Местное химическое средство 947, 959, 961, 1739
- Металл и электролит, их состояние 946
- Металлические полюсы 557
- Металлический контакт*, его применение в батарее 893, 896
- не необходим для электролиза 879
- не существен для гальванического тока 879, 887, 915
- Металлы*, адгезия к ним жидкостей 1038
- в некоторой степени изолируют 1328

- Металлы* вообще вторичные результаты электролиза 746
- , их перенос 539, 545
 - , их способность вызывать соединения 564, 608
 - , —, помехи 638
 - , конвекционные токи в них 1603
 - переносят химическую силу 918
 - , различие индуцированных в них токов 193, 211
 - , статическая индукция в них 1329, 1332
 - только немногие магнитны 255
- Механические силы действуют на химическое сродство 656
- Модель отношения между магнетизмом и электричеством 116
- Молекулярное индукционное действие 1164, 1669
- Молния 1420, 1464, 1641
- Момент выделения, его отношение к соединению 658, 717
- Найт Говин д-р, его магнит 44
- Накаливание проволоки электрическим током 853 *прим.*, 1630
- Направление* индуцированного вольта-электрического тока 19, 26, 1091
- ионов в цепи 962
 - магнито-электрического тока 114, 116
 - электрического тока 663
- Напряжение* гальванического электричества 268
- гальванической батареи, его увеличение 906, 990
 - , его влияние при проводимости 419
 - животного электричества 352
- Напряжение* индуктивное, как его можно представить 1370
- магнито-электричества 343
 - , необходимое для электролиза 911, 966
 - обыкновенного электричества 285
 - относительное магнито-электрических токов 183, 193, 211, 213
 - разрывного разряда постоянно 1410
 - термоэлектричества 349
 - тока в отдельных цепях 904
 - , его увеличение 906
 - цинка и электролита в гальваническом элементе 949
 - электролитическое 912, 966, 983, 1354
 - электричества в гальванической батарее 990, 993
- Неисчерпаемость электрического тока 1631
- Непроводимость твердых электролитов 381, 1358, 1705
- Неразделимость двух электрических сил 1163, 1177, 1244, 1628
- Новое электрическое состояние материи 60, 231, 242, 1114, 1661, 1729
- Новый закон проводимости 380, 394, 410
- Обыкновенное электричество*, его магнитная сила 288, 362
- , его напряжение 285
 - , его химическая сила, 309, 454
 - , —, предосторожности 322
 - , искра 333
 - , развитие им тепла 287

- Обыкновенное электричество*, рассмотрение его общих свойств 284
 — тождественно с другими электричествами 360
 —, физиологические действия 332
Общие замечания о гальванической батарее 1034, 1136
 — принципы определенности электролитического действия 822
 — *результаты по вопросу* об индукции 1295
 — — о проводимости 443
Окисление является причиной электрического тока в гальваническом элементе 919, 930
Оксид свинца, ее электролиз 797
Олово, его иодид электролизуется 804
 —, электролиз его протохлорида является определенным 789, 819
Определенность магнитного действия электричества 216, 362, 367, 377
 — разлагающего действия электричества 329, 372, 377, 504, 704, 783, 821
 — *электрохимического действия* 822, 869, 960
 — — в воде 732, 785, 807
 — — в иодиде свинца 803, 818
 — — в иодисто-водородной кислоте 767, 787
 — — в протохлориде олова 819
 — — в соляной кислоте 758, 786
 — — в хлориде свинца 815
 — — в хлориде серебра 813
Опыт для решения вопроса о характере действия: является ли оно магнитным или магнито-электрическим 215, 243
Основания и кислоты, их отношения в элементе 927
 Остаточный заряд Лейденской банки 1249
Острия благоприятствуют конвекционному разряду 1573
 * — жидкие для конвекции 1581
 Ось силовую представляет собой ток 517, 1627, 1642
Отношение боковое линии индуктивной силы 1231, 1297, 1304
 — [эквивалентов] в электролитах один к одному 679, 697
 — газов к положительному и отрицательному разряду 1510
 — измеренное электричество 361
 — изоляции и индукции 1324, 1362, 1368, 1678
 — *индукции и возбуждения* 1178, 1740
 — — заряда 1171, 1177, 1300
 — — разрывного разряда 1362
 — — электролиза 1164, 1343
 — искры, кисти и свечения 1533, 1539, 1542
 — кислот и щелочей в гальванизме 927, 933
 — магнитной индукции к промежуточным телам 1662, 1728
 — магнитной кривой и движущихся проводников 256
 — проводимости и индукции 1320, 1337
 — проводников и изоляторов 1321, 1326, 1334, 1338
 — пустоты к электричеству 1613
 — соседних частиц друг к другу 619, 624
 — тока к магниту, мнемоническое правило 38 *прим.*
 — *элементов* в возбуждающих электролитах 921
 — — в разлагающихся электролитах 923, 1072

- Отношение* электрической и магнитной сил 118, 1411, 1653, 1658, 1709, 1731
- Отрицательная кисть* или искра 1484, 1502
- Отрицательный и положительный разряд* 1465, 1482, 1525
- в различных газах 1393
- Отрицательный разряд* 1465, 1484
- в виде кисти 1466, 1502
- в виде искры 1467, 1482
- Отрицательный ток* не существует 1627, 1632
- Первичные результаты электролиза* 742
- Перемещение заряженных частиц* 1563
- Перенос* не происходит в простых телах 544, 546, 826
- происходит одновременно в обоих направлениях 542, 828
- химической силы 918
- *элементов* 454, 507, 539, 550, 826
- —, его природа 519, 525, 538, 549
- — и ток, их взаимоотношение 923, 962
- — через большие промежутки 455, 468
- Переносный разряд* 1562
- —. См. Конвекционный разряд
- Плавление* влечет за собой проводимость 394, 402
- Пламя* благоприятствует конвективному разряду 1580
- Пластины гальванической батареи*, большие или малые 1154
- грязные 1145
- , их взаимная близость 1148
- , их погружение 989, 1151
- новые и старые 1146
- Пластины платиновые*, их свойства сохраняются 576
- , их свойства сохраняются в воде 580
- , их сила уменьшается при действии 581
- , — на воздухе 636
- , на их силу влияет промывание в воде 582
- , — присутствие некоторых газов 638, 655
- , — теплота 584, 597
- , *приготовленные* нагреванием 595
- , — трением 591
- , — химической очисткой 599, 605
- , — электрическим путем 570, 585, 588
- , причина их силы 590, 616, 630
- производят соединение 568, 571, 590, 630
- , *теория их действия* по автору 619, 626, 630, 656
- , — по Доберейнеру 610
- , — по Дюлонгу и Тенару 611
- , — по Фузиниери 613
- Платина губчатая*, ее состояние 637
- , ее действие задерживается маслородным газом 640, 652
- , — углекислотой 645, 652
- , помехи ее действию 638
- притягивает вещество из воздуха 634
- чистая, ее свойства 633, 717
- чистая, ее способность производить соединение 564, 590, 605, 617, 630
- См. Соединение, Пластины платиновые и Помехи

Платиновые полюсы, производимые ими соединения 567, 588
 Положительные искра и кисть 1484, 1502
Положительный гальванический разряд 1524
 — и отрицательный конвекционные разряды 1600
 — — *разрывной разряд* 1465, 1482, 1485, 1525
 — — — в различных газах 1393
 — — электролитический разряд 1525
 — *разряд* 1465, 1480
 — — в виде искры 1467, 1482
 — — в виде кисти 1467, 1476
 — ток не существует 1627, 1632
Полюсы электрические, водяные 494, 558
 — воздушные 455, 461, 559
 — графитовые 794
 —, их природа 461, 498, 556, 662
 — металлические 557
 —, объяснение появления на них выделяющихся тел 535
 —, один и тот же элемент то у одного, то у другого? 552, 681, 757
 — платиновые, производимые ими соединения 567, 588
 Полюсы магнитные, их точное обозначение 44 *прим.*
 Поляризованный свет, пропускаемый через электролиты 1702
Полярность, значение термина 1304, 1685
 — частиц под действием индукции 1298, 1676
 — *электрическая* 1670, 1685
 — — в кристаллах 1689
 — — в молекулах или атомах 1699

Полярность электрическая в электролитах 1702
 — —, ее изменение 1687
 — —, ее направление 1688, 1703
 — —, ее степень 1686
Полярные разложения посредством обыкновенного электричества 312, 321, 469
 — силы, их свойства 1665
Помехи соединяющему действию платины 638, 655
 — со стороны масляного газа 640
 — — сероуглерода 650
 — — углекислоты 645
 — — эфира 651
 Поперечные силы тока 1653, 1709
 Поррета особые действия 1646
 Постоянство электрического тока 1618
 Практические результаты с гальванической батареей 1136
 Преимущества новой гальванической батареи 1132
 Прибор индукционный 1187. См. Индукционный прибор
 Принципы общие определенности электролитического действия 822
Природа электрического тока 1617
 — электрической силы или сил 1667
Притяжения гигрометрические 621
 — химические производят электрический ток 852, 921, 947, 959, 1739
 — электрические, их сила, 1622 *прим.*
Проводящая способность воды постоянна 984
 —, измерение ее магнитом 216
 — твердых электролитов 419
Проводимость 418, 1320

- Проводимость*, влияние на нее температуры 445, 1339
- воды плохая 1159
 - воды улучшается растворением в ней тел '984, 1355
 - газов 1336
 - двойкого рода 987
 - для тока и для теплоты, их отношение 416
 - , ее отношение к напряжению проходящего тока 419
 - , ее природа 1320, 1326, 1611
 - , ей предшествует индукция 1329, 1332, 1338
 - и изоляция суть явления одного и того же рода 1320, 1326, 1336, 1338, 1561
 - и разложение в электролитах связаны друг с другом 413, 676, 854
 - льдом задерживается 381
 - медленная 1233, 1245, 1328
 - металлов падает при нагревании 432, 445
 - , новый закон ее 380, 394, 410
 - , общие результаты 443
 - , предположительное исключение из нового закона 691, 1340
 - присуща всем телам 444, 449
 - простая может встречаться в электролитах 967, 983
 - , это проявляется при очень слабых токах 970
 - пустоты 1613
 - растет при нагревании 432, 441, 445
 - серы 1241, 1328
 - сообщается телам при плавлении 394, 410
 - спермацеты 1240, 1323
- Проводимость* стекла 1239, 1324
- уничтожается при затвердевании 394, 1705
 - —, причина этого явления 910, 1705
 - усиливается присутствием электролитов 1355
 - шеллака 1234, 1324
 - электролитическая, ее прекращение 380, 1358, 1705
 - электролитов без разложения 968, 1017, 1032
- Проволока* длинная, индуктивные действия в ней 1064, 1118
- , ее накаливание электрическим током 853 прим., 1631
 - , — на всем протяжении одинаково 1630
 - — как регулятор электрического тока 853 прим.
 - , скорость тока проводимости в ней различна 1333
 - уединенная, индукция в ней 170
- Происхождение силы гальванической батареи 878, 916, 919
- Промежуточные пластины, их задерживающее действие 1018
- Простые гальванические цепи* 875
- без металлического контакта 879
 - дают сильные удары 1049
 - — яркую искру 1050
 - с металлическим контактом 893
 - , усиление их действия 906
- Пуассона теория электрической индукции 1305
- Пустота, ее отношение к электричеству 1613
- Путь электрической искры 1407
- Пыль, заряд ее частиц 1567

- Разлагающая сила*, ее различное действие на отдельные частицы 503
- одинакова в каждом сечении тока 501, 505
- Различие между магнитным и магнито-электрическим действием 138, 215, 243, 253
- Различие между положительным и отрицательным разрядом 1465, 1480, 1485
- Разложение*, его первичные и вторичные результаты 742, 777
- и проводимость в электролитах взаимно связаны 413, 854
 - *посредством обыкновенного электричества* 309, 454
 - , предосторожности 322
 - *электрохимическое* 450, 669
 - — азотной кислоты 752
 - — аммиака 748
 - — ацетатов 774
 - — без металлического контакта 880, 882
 - — в воздухе 454, 461, 469
 - — винно-каменной кислоты 775
 - —, влияние на него воды 472
 - — воды 704, 785, 807
 - , вторичные результаты 702, 742, 748, 777
 - , его отличительные черты 309
 - , его причина 891, 904, 910
 - —, *его теория* 477, 1345
 - —, — по автору 518, 524, 1345, 1623, 1703, 1706
 - —, — по Био 486
 - —, — по Гашетту 491, 513
 - —, — по Гротгусу 481, 499, 515
- Разложение электрохимическое, его теория* по де ла Риву 489, 507, 514, 543
- —, — по Дэви 482, 500
 - —, — по Риффо и Шомпре 485, 507, 512
 - — есть перенос 519, 525, 538, 550, 1347, 1706
 - — есть разделение электролита 1347, 1623, 1704
 - — *зависит от* напряжения тока 891, 910, 1007
 - — — предшествующей индукции 1345
 - — — химического сродства частиц 519, 525, 549.
 - — — электрического тока 493, 510, 524, 854
 - — задерживается промежуточными пластинками 1007
 - — *иодида* калия 805
 - — — свинца 802, 818
 - — иодистоводородной кислоты и иодидов 767, 787
 - — — круговой ряд действий 562, 962
 - —, некоторые общие условия его 669
 - —, необходимое напряжение тока 911, 966, 1345, 1354.
 - —, не сложные тела не переносятся 544, 546
 - —, новые термины в применении к нему 662
 - —, новые условия его 453
 - — *окси* свинца 797
 - — — сурьмы 801
 - —, первичные результаты 742
 - — поддерживается растворенными телами 1355
 - — *посредством обыкновенного электричества* 309, 454

- Разложение электрохимическое посредством* одной пары пластинок 862, 897, 904 931
- — — электрического тока 1621
- —, необходимое для него напряжение 966, 1354
- —, почему элементы появляются на полюсах 535
- — прекращается при отвердевании 380, 1358, 1705
- *происходит* не от прямого протяжения или отталкивания полюсов 493, 497, 536, 542, 546
- — — одновременно 1156
- — протоиодида олова 804
- — протохлорида олова 789, 819
- — расплавленных электролитов 789
- — сахара, резины и т. п. 776
- — селитры 753
- — сернистой кислоты 755
- — серной кислоты 757
- — соляной кислоты 758, 786
- —, сопротивление ему 891, 910, 1007
- — сульфата магнезии 495
- —, терминология 661
- — уксусной кислоты 773
- — фтористо-водородной кислоты и фторидов 770
- — хлорида серебра 541, 813, 979
- — — свинца 799, 815
- — — сурьмы 690, 796
- — хлоридов в расплавленном виде 789, 813.
- — в растворе 766.
- — цианистой кислоты и цианидов 771.
- — является определенным 329, 372, 377, 504, 704, 714, 722, 726, 732, 764, 783, 807, 821, 960
- Разложение электрическое является определенным* независимо от изменений электродов 714, 722, 807, 832
- Разрежение воздуха облегчает разряд, почему? 1375
- Разрывной разряд 1359, 1405. См. Разряд разрывной
- Разряд, его теория 1368, 1406, 1434
- Разряд конвекционный* 1442, 1562, 1601, 1623, 1633, 1642
- в изолирующих средах 1562, 1572
- , влияние на него механических причин 1579
- — острия 1573
- — пламени 1580
- в скипидаре 1570
- в хороших проводниках 1603
- , его родственность электролитическому разряду 1622, 1633
- , заряд частицы в воздухе 1564
- , заряджение им воздуха 1442, 1592
- , направление токов 1599, 1645
- , положительный и отрицательный 1593, 1600, 1643
- , производимые им токи в воздухе 1572, 1581, 1591
- — в скипидаре 1595, 1598
- с жидкими электродами в воздухе 1581, 1589
- — в жидкостях 1597
- с свечением 1576
- с шара 1576, 1590
- , явления Порретта 1646
- Разряд разрывной* 1405
- в жидкостях и твердых телах 1403
- в различных газах 1381, 1388, 1421

- Разряд разрывной в различных газах*, его особенности 1399, 1422, 1687
- — различно 1395
 - , его продолжительность 1418, 1436, 1498, 1641
 - *изменяется при изменении размеров кондукторов* 1372
 - — изменении расстояния кондукторов 1303, 1364, 1371
 - — изменении температуры 1367, 1380
 - — изменении формы кондукторов 1302, 1372, 1374
 - — разрежении воздуха 1365, 1375, 1471
 - — смене диэлектрика 1395, 1422, 1454
 - искровой 1406
 - кистевой 1425
 - , необходимое напряжение 1409, 1553
 - облегчает подобные же действия 1417, 1435, 1453, 1553
 - определяется одной частицей 1370, 1409
 - , определяющая напряжение постоянная 1410
 - *положительный и отрицательный* 1393, 1399, 1465, 1524
 - — в различных газах 1506, 1510, 1518, 1687
 - — зависит от природы диэлектрика 1503
 - —, относительная легкость 1496, 1520
 - —, различия 1467, 1475, 1482, 1485, 1501
 - предшествуется индукцией 1362
 - , происходящий рядом с другими 1412
- Разряд разрывной* со свечением 1520
- темный 1444, 1544, 1560
 - , характерный для каждого диэлектрика 1503
- Разряд темный* 1444, 1544, 1560
- в азоте 1559
 - в газообразной соляной кислоте 1554
 - в водороде 1558
 - в воздухе 1548
 - в промежутке между положительным и отрицательным свечением 1547
 - в светильном газе 1556
 - , с отрицательным свечением 1544
- Разряд электрический* в виде кисти 1425. См. Кисть в виде огненного шара 1641
- в виде свечения 1626. См. Свечение
 - *гальванической батареи* посредством остриев 272
 - через горячий воздух 271, 274
 - , его разновидности 1319
 - , его скорость в металлах различна 1333
 - искровой. См. Искра электрическая.
 - кондуктивный. См. Проводимость
 - Лейденской банки 1300
 - переносом. См. Разряд конвекционный
 - , положительный и отрицательный 1465
 - разрывной 1359, 1405
 - темный 1444, 1544
- Разряд электролитический* 1164, 1343, 1621, 1703, 1706
- доказывает действие смежных частиц 1349

- Разряд электролитический*, его отношение к конвективному разряду 1622
- , его теория 1344, 1622, 1704
- , необходимое напряжение 912, 966, 1346
- облегчается прибавлением тел 1355
- останавливается при отвердевании электролита 380, 1358, 1705
- по кривым линиям 521, 1216, 1351
- положительный и отрицательный 1525
- , предшествующая индукция 1345, 1351
- , разделение электролита 1347, 1704
- , скорость электрического тока при нем 1650
- Разряжающий провод, служивший обычно для опытов, 292
- Расстояние*, его влияние на разрядной разряд 1364, 1371
- при индукции 1303, 1364, 1371
- Растворимость газов при электролизе 717, 728
- Результаты* общие по вопросу об индукции 1295, 1669
- практические с гальванической батареей 1136
- электролиза первичные или вторичные 742, 777
- Риффэ и Шомпре теория электрохимического разложения 485, 507, 512
- Рост* искры 1553
- кисти 1437
- Ртутные полюсы при конвекции 1581
- Ртуть*, ее периодид, исключение из законов проводимости? 691, 1341
- Ртуть*, ее перхлорид 692, 1341
- Сближение* пластинок в гальванической батарее 1648
- Сверкание молнии 1464
- Свет* поляризованный пропускается через электролиз 951
- *электрический* 1405, 1445, 1560 *прим.*
- — искры 1406, 1553
- — кисти 1425, 1444, 1445
- — свечения 1526
- Светильный газ*, искры в нем 1422
- , кисти в нем 1460
- , положительные и отрицательные кисти в нем 1476
- , положительный и отрицательный разряд в нем 1515
- , темный разряд в нем 1556
- Свечение* 1405, 1526
- , его отношение к кисти и искре 1533, 1538, 1539, 1542
- , его получение 1527
- , его природа 1543
- , ему способствует разрежение воздуха 1529
- наблюдается во всех газах 1534
- отрицательное 1530
- положительное 1527
- представляет собой непрерывное зарядение воздуха 1526, 1537, 1546
- , разряд при нем 1526
- сопровождается ветром 1535
- Свинец*, его фторид в нагретом состоянии хорошо проводит 1340
- , *электролиз* его хлорида 794, 815
- , — иодида 802, 818

- Свинец, электролиз окиси 797
 Сводка положений молекулярной теории индукции 1669
 — условий проводимости 443
 Свойства гальванического электричества 268
 — животного электричества 351
 — магнито-электричества 343
 — обыкновенного электричества 284
 — термоэлектричества 349
 — электрического тока постоянны 1618, 1627
 — электричества, таблица их 360
 Сера, ее проводимость 1241, 1245
 —, ее удельная индуктивная способность 1275
 —, медь и железо в цепи 943
 — направляется и к тому и к другому полюсу 552, 681, 757
 Серебра хлорид, его электролиз 541, 813, 902
 —, необходимое электролитическое напряжение 979
 Серебро сернистое в горячем состоянии хорошо проводит 433
 Серная кислота в гальваническом элементе, ее применение 925
 —, ее перенос 525
 —, ее проводимость 409, 681
 —, ее разложение 681, 757
 —, магнито-электрическая индукция в ней 200, 213
 — не электролит 681
 Сернистая кислота, ее разложение 755
 Сернистое серебро в горячем состоянии хорошо проводит 433
 Сернистые растворы возбуждают элемент 943
 Сероуглерод, как помеха 650
 Сечения линий индуктивного действия, 1369
 —, размер силы в них одинаков 1369
 Сечения через ток 498, 1634
 —, во всех разлагающая сила одинакова 501, 1621
 Сжатие ведет за собой появление проводимости 380, 394, 410
 Сила батареи, ее оценка 1126
 — индуктивная токов, ее природа 60, 1113, 1735
 — электрическая, ее природа 1163, 1667
 Силы батареи, их состояние напряжения 949
 — возбуждающие гальванического прибора 887, 916
 — —, их повышение 905, 994, 1138, 1148
 — полярные 1665
 — тока боковые, или поперечные 1653, 1709
 — — прямые 1620
 — химические местные 947, 959, 1739
 — циркулирующие 917, 947, 996, 1120
 — электрические две 1163
 — — и магнитные, их взаимоотношение 1411, 1653, 1658, 1709
 — — —, являются ли они существенно различными? 1663, 1731
 — — и химические — одно и то же 877, 916
 — — неразделимы 1163, 1177, 1244, 1627
 Синильная кислота, ее электролиз 771, 788
 Сияние северное объясняется магнито-электрической индукцией 192

- Скала электролитических напряжений 912
- Скат электрический*, огромное количество его электрической силы 359
- , природа его электрического разряда 359
- Скипидар* заряжается 1172
- , кисть в нем 1452
- , конвективные токи в нем 1595, 1598
- , разрушение его изолирующей способности 1571
- , хороший жидкий изолятор 1172
- , электрические движения в нем 1588, 1595
- Скорость* кондуктивного и электролитического разряда, их различие 1650
- проводимости в металлах изменчива 1333
- электрического разряда 1641, 1649
- Скрытое (связанное) электричество 1684
- Сложные магнитные цепи 989
- Смежные частицы* действуют при электролизе 1349, 1703
- , их отношение к индукции 1165, 1679
- , их роль в электролизе 1349, 1703
- Соединения, производимые металлами*, 564, 608
- платиновыми полюсами, 566
- *платиной*, 564, 568, 571, 590, 630
- — в виде пластинок 569
- — губчатой 609, 636
- —, *задержка в присутствии* маслородного газа 646
- — — окиси углерода 645, 652
- — — сероуглерода 650
- Соединения, производимые платиной, задержка в присутствии* эфира 651
- — — других веществ 649, 653, 654
- —, помехи 638, 652, 655
- —, причина действия 590, 616, 625, 656
- —, способ действия 630
- твердыми телами 564, 618
- Соли, рассматриваемые как электролиты 698
- Соляная кислота газообразная*, ее высокая изолирующая способность 1395
- , *искры в ней* 1422, 1463
- — не обнаруживают темного промежутка 1463, 1555
- , кисти в ней 1462
- , положительные и отрицательные кисти в ней 1476
- , свечение в ней 1534
- , темный разряд в ней 1554
- Соляная кислота*, ее разложение (первичное) 738, 786
- разлагается обыкновенным электричеством 314
- Сопrotивление* электролизу 891, 904, 911, 1007
- , электролита разложению 1007
- Состояние электротоническое 60, 231, 242, 1114, 1661, 1729
- Спермацет*, его отношение к проводимости и изоляции 1322
- , его проводимость 1240, 1323
- Спираль, индукционные действия в ней 1061, 1094
- Способность удельная индуктивная* 1252. См. Удельная индуктивная способность
- Сравнение гальванических батарей 1126, 1146

- Сродства химические*, их отношение в действующем элементе 949
—, преодолеваемые гальванически, 891, 904, 910
- Статическая индукция. См. Индукция статическая
- Стекло*, его удельная индуктивная способность 1271
—, *притяжение им* воды 1254
— — воздуха 622
—, проводимость 1239
- Строение электролитов* в смысле относительного состава 679, 697, 830, 1078
—, их жидкое состояние 394, 823
- Стэрджен*, опыт Араго в его видоизменении 249
—, применение им амальгамированного цинка 863, 999
- Сульфат натра*, необходимое электролитическое напряжение 975
— разлагается обыкновенным электричеством 317
- Сурьма*, ее отношение к магнито-электрической индукции 139
—, ее хлорид не является электролитом 690, 796
—, как на ее окись действует ток 801
—, предположение о существовании ее нового протоксида 693
—, тоже, проток-сернистое соединение 694
- Таблица* изоляции газов 1388
— ионов, анионов и катионов 847
— разряда в газах 1388
— электрических действий 360
— электролитов, испытывающих изменение при плавлении, 402
— электрохимических эквивалентов 847
- Твердые тела*, их способность производить соединения 564, 618
—, помехи 638
- Твердые электролиты суть непроводники* 394, 402, 1358
— почему? 910, 1705
- Текучая вода, токи в ней 190
- Тела*, поддающиеся электролизу 824
— *подразделяются* по их отношению в магнетизму 255
— — по их отношению к электрическому току 823
- Темный разряд 1444, 1544. См. также Разряд темный.
- Теория* гальванического прибора 875, 1741
— соединения газов чистой платиной 619, 626, 630, 656
— разрывного разряда 1368, 1406, 1434
— статической индукции 1165, 1231, 1295, 1666, 1667
— электрохимического разложения 477, 661, 1623, 1704
— явления Араго 120
- Теплота* влияет на оба электрода 1637
—, *выделяемая* гальваническим электричеством 276
—, — животным электричеством 353
—, — магнито-электричеством 344
—, — обыкновенным электричеством 287
—, — термоэлектричеством 349
—, ее проводимость и отношение к электропроводности 416
—, как результат электрического тока 853 *прим.*, 1625, 1630
— увеличивает проводимость некоторых тел 432, 438, 1340

- Терминология 662, 1483
- Термоэлектричество*, выделение им тепла 349
- , его искра 349
- , его магнитная сила 349
- , его общие свойства 349
- , его физиологические действия 349
- тождественно с другими электричествами 360
- Тождественность* химической и электрической сил 877, 917, 947, 961, 1031
- электричеств 265, 360
- Ток гальванический без металлического контакта 879, 887
- Токи* в воздухе конвекционные 1572, 1581
- в металлах конвекционные 1603
- в скипидаре конвекционные 1595, 1598
- Ток и магнит, напоминание об их взаимоотношении 38 *прим.*
- Ток — химическое сродство 852, 918, 947, 996
- Ток электрический* 1617
- в земле 187
- , возникающий в движущейся земле, 181
- всегда заключает в себе обе силы 1627, 1632, 1635, 1642
- , его индуктивная сила — боковое действие 1108
- , его индукция на самого себя 1048
- , его нагревательное действие равномерно 1630
- , его неисчерпаемость 1631
- , его определение 282, 511
- , его *поперечные действия* 1653, 1658
- Ток электрический, его передаточные действия* имеют отношение к смежным частицам 1664
- , — имеют свойства полярности 1665
- , — постоянны 1658
- , его природа 511, 667, 1617, 1627
- , его *сечение* 498, 504, 1634
- , — представляет постоянную силу 1634
- , его *скóрость* при проводимости 1648
- , — при электролизе 1651
- един и неразделим 1627
- , естественный указатель его направления 663
- , индукция. См. Индукция электрического тока
- , индуцируемый в различных металлах 193, 213, 201, 211
- испытывает влияние теплоты 1637
- останавливается при отвердевании 381
- , получение его индукцией 1, 6, 232, 241, 1101, 1048
- постоянен в своих свойствах 1618, 1627
- , производимые им действия, открытые Порреттом, 1646
- , *производимый* животными, 351
- , — индукцией другими токами, 6, 1089
- , — магнитами, 36, 88, 344
- , — разрядом статического электричества, 296, 307, 363
- , — теплотой, 349
- , — трением, 301, 307, 311
- , — химическим действием, 879, 916, 1741

- Ток электрический производит** магнетизм 1653
 — — тепло 1625
 — — химические явления 1621
 —, различные способы производить его 1618
 — регулируется тонкой проволокой 853 *прим.*
 — состоит не из одного электричества 1627, 1632, 1635
- Трением** возбуждение 1744
 — получаемое электричество, его свойства 284
- Увеличение** числа элементов гальванической батареи, его действие 990
- Углекислый газ**, искра в нем 1422, 1463
 —, кисти в нем 1461, 1476
 — мешаает действию платины 645, 652
 — не представляет помехи действию платины 645, 652
 — облегчает образование искры 1463
 —, положительные и отрицательные кисти в нем 1476
 —, разряд в нем, положительный и отрицательный 1516
 —, свечение в нем 1534
- Удар** сильный с одной гальванической парой 1049
- Удельная индуктивная способность** 1252
 — воздуха 1284
 — газов 1283, 1290
 —, прибор для нее 1187
 — серы 1275, 1310
 — стекла 1271
 — шеллака 1256, 1270, 1308
- Удельная индукция**. См. Индукция удельная 1252
- Удержание** электричества атмосферным давлением, гипотеза 1377, 1398
- Уитстона** анализ электрической искры 1427
 — измерение кондуктивной скорости в металлах 1328
- Уксусная кислота**, ее электролиз 773
- Униполярность** 1635
- Упругость** газов 626
 — газовых частиц 658
- Условное** указание направления тока 663
- Условия** новые электро-химического разложения 453
 — общие гальванического разложения 669
- Усовершенствованная** гальваническая батарея 1006, 1120
- Физиологические действия** гальванического электричества 279
 — животного электричества 357
 — магнито-электричества 56, 347
 — обыкновенного электричества 332
 — термоэлектричества 349
- Фокс**, его земные электрические токи 187
- Форма**, ее влияние на индукцию 1302, 1374
 — разряд 1372, 1374
- Фосфорная кислота** не электролит 682
- Фторид** свинца в нагретом состоянии проводит хорошо 1340
- Фтористо-водородная кислота** не электролизуется 770
- Фузиниери** о способности платины производить соединения 613

- Химические действия в различных местах, противоположные друг другу, 891, 910, 1007
- Химические действия на расстоянии, связанные друг с другом и противоположные, 891, 909
- Химические и электрические силы тождественны 877, 918, 947, 960, 965, 1031
- Химическое действие*, возбуждающее элемент, есть окисление 921
- , *вызываемое* металлами 564
- , — платиной 564, 617, 630
- , обнаруживаемое иодидом калия 315
- Химическое разложение*, производимое гальваническим электричеством, 278, 450, 661
- животным, электричеством, 355
- магнито-электричеством, 346
- обыкновенным электричеством, 309, 453
- термоэлектричеством, 349
- См. Разложение электро-химическое
- Химическое сродство*, влияние на него механических сил 656
- может переноситься через металлы 918
- статическое, или местное 852, 921, 947, 959
- , ток 852, 918, 947, 996
- Хлорид олова*, его электролиз 789, 819
- *свинца*, его электролиз 794, 815
- , —, необходимое для его электролиза напряжение 978
- *серебра*, его электролиз 541, 813, 902
- Хлорид серебра*, необходимое для его электролиза напряжение 979
- сурьмы не есть электролит 690
- Хлориды* в растворах, их электролиз 766
- расплавленные, их электролиз 789, 813
- Центры* [сгущения], их действие 623, 657
- Цепи гальванические* простые 875
- сложные 989
- Цепь гальваническая, расположение в ней тел 962
- Цианисто-водородная кислота. См. Синильная кислота
- Цинк амальгамированный* в батареях, его чистота 1144
- , его окисление является источником силы в элементе 919
- , его применение в элементах 999
- , его свойства 863, 1000
- , его отношение к электролизу 949
- , *пластинки из него в батареях* грязные 1145
- — новые и старые 1146
- , расход его в гальванических батареях 997
- Частицы* в воздухе как заряжаются 1564
- диэлектрика, их индуктивные свойства 1369, 1410, 1669
- , их действие при электролизе 520, 1343, 1703
- , их местное химическое действие 961, 1739
- , их отношение к электрическому действию 73
- Частицы*, их полярность под действием индукции 1298, 1676

- , их электрическое действие 1669
1679, 1740
- как поляризуются 1669, 1679
- — в любом направлении
1689
- — в электролитах 1702
- —: как целое или их элементы
1699
- кристаллические 1689
- смежные действуют при индукции 1165, 1677
- смежные действуют при электролизе 1349, 1702
- соседние, их взаимоотношение
619, 624, 657
- , состояние их выделения
658
- Чистая платина**, ее свойства 633,
717
- , ее способность производить соединения 590, 605, 617, 632
- , См. Пластины платиновые
- Чистота металлов и других твердых тел** 633
- Шар вращающийся Барлоу**, объяснение явлений 137, 160
- обладает магнитными свойствами 164
- Шары огненные в атмосфере**
1641
- Шеллак**, действие его проводимости 1234
- , его отношение к проводимости и изоляции 1324
- , его удельная индуктивная способность 1256, 1269
- , индукция через него 1255
- , удаление с него заряда 1203
- Щелочь**, ее перенос 525
- обладает сильной возбуждающей способностью в гальванической батарее 884, 931, 941
- Эквиваленты электрохимические**
824, 833, 855
- и химические суть одно и то же
836, 839
- Электрики, их заряд 1171,
1247
- Электрическая батарея**, применявшаяся обычно, 291
- и магнитная силы, их взаимоотношение 118, 1411, 1653, 1658,
1709, 1731
- индуктивная способность. См. Удельная индуктивная способность
- индукция 1162. См. Индукция
- искра. См. Искра электрическая
- и химическая силы тождественны 877, 917, 947, 960, 965
1031
- машина, применявшаяся обычно, 290
- полярность. См. Полярность электрическая
- проводимость 1320. См. Проводимость
- сила, ее природа 1667. См. Силы
- Электрические кисти** 1425. См. Кисти электрические
- , состояние при них частиц вещества 862, 1669
- Электрический разряд 1319. См. Разряд электрический
- Электрический ток**, его определение 283, 511
- , его природа 511, 1617,
1627
- , индукция 6, 232, 241, 1048,
1101. См. Индукция электрического тока

- Электрический ток*, индукция его на самого себя 1048
 — См. Ток электрический
- Электрическое возбуждение* 1737.
 См. Возбуждение.
- Электричества два* 1163
 —, их независимое существование 1168
 —, их неотделимость друг от друга 1168, 1177, 1244
 — никогда не разделяются в токе 1628
 —, тождественность их при любом возбуждении 265, 360
- Электричества количество* в веществе 852, 861
 — одно или два? 516, 1667
- Электричество гальваническое* 268
 —, его определенное магнитное действие 216, 366
 —, — нагревательное действие 1625
 —, — разлагающее действие 329, 377, 783, 1621
 —, его отношение к пустоте 1613
 —, его распределение на проводниках 1368
 — —, — зависит от формы 1302, 1374
 — —, — давления воздуха 1375
 — —, — расстояния 1303, 1364, 1371
 —, животное, его свойства 351
 —, магнито-электричество, его свойства 343
 — обыкновенное, его свойства 284
 — обыкновенное и гальваническое, их измерение 361, 860
 — связанное 1684
 —, термо-электричество, его свойства 349
- Электричество гальванической батареи* 875
- Электричество гальванической батареи, его источник* 875
 —, — лежит в химическом действии 879, 916, 919, 1738, 1741
 —, — не металлический контакт 887, 915
- Электричество из магнетизма* 27, 36, 57, 83, 135, 140
 —, даваемая им искра 32
 —, даваемый им ток, его направление 30, 38, 41, 52, 53, 54, 78, 91, 99, 114, 142, 160, 220, 222
 —, действие при приближении и при удалении 18, 39, 50
 —, его удар 56
 —, закон выделения 114
 —, направление токов в пластинке 123, 150
 — образует магниты 34
 —, общее выражение действия 256
 — от одних магнитов 220
 — отклоняет гальванометр 30, 39, 46
 — посредством вращения шара 137, 160
 — посредством пластинок 94, 101
 — посредством провода 49, 55, 109, 112, 137
 — при намагничении мягкого железа токами 27, 34, 57, 113
 — — магнитами 36, 44
 —, проводники и магнит оба движутся 218
 — — проходит через жидкости 23, 33
 — — с помощью вращающейся пластинки 83, 149, 240
 — — как постоянный источник электричества 89, 90, 150
 — с помощью движения проводников 55, 83, 132, 109, 149, 161, 171
 — —, существенное условие при этом 217

- Электричество из магнетизма с помощью* земного магнетизма 140, 150, 161
- — постоянных магнитов 39, 84, 112
 - , *существенное условие* 217
 - , ток, получаемый в одном проводе, 49, 55, 170
 - *удобный источник электричества* 46 *прим.*
 - — кратковременный 28, 30, 47
 - — постоянный 89, 154
- Электроды*, влияние на них теплоты 1637
- , *изменение их природы* 807
 - , — их размеров 714, 722
 - , их определение 662
 - . См. Полюсы
- Электролиз* 450, 661, 1164, 1347, 1704
- в одной цепи 863, 879
 - , его облегчение 394, 417, 649, 1355
 - , его определение 664
 - и проводимость связаны друг с другом 413, 676
 - , необходимое для него напряжение 919, 966
 - , сопротивление, ему оказываемое, 1007
 - сульфата магнезии 495
 - хлорида серебра 541, 979
 - . См. Разложение электрохимическое
- Электролит возбуждающий*, вода 944, 945
- —, раствор кислоты 881, 925
 - —, щелочи 931, 941
 - , его определение 664
 - , раствор сернистого вещества 943
- Электролитическая индукция* 1164, 1343
- Электролитические проводники* 474
- Электролитический разряд*. См. Разряд электролитический
- Электролитическое действие тока* 478, 518, 1620
- Электролитическое напряжение* 911, 966, 983
- воды 968, 981
 - , его естественное значение 987
 - различно для различных тел 912, 986, 1354
 - сульфата натра 975
 - хлорида свинца 978
 - хлорида серебра 979
- Электролиты в жидком состоянии* суть хорошие проводники 394, 823
- в твердом состоянии являются не проводниками 381, 394
 - —, почему? 910, 1705
 - и металл, их состояние в гальваническом элементе 946
 - , исключение 1032
 - , их обязательный состав 669, 823, 829, 858, 921, 1347, 1708
 - , их истинная проводимость не изменяется от растворения других веществ 1356
 - , их сопротивление разложению 891, 1007, 1705
 - , их частицы поляризуются как целое 1700
 - , как обыкновенные проводники 970, 983, 1344
 - , кислоты не относятся к этому классу 681
 - могут проводить слабые токи без разложения 967
 - *необходимы в гальваническом элементе* 921
 - —, почему? 858, 923

- Электролиты*, необходимость проводимости 1158
- , одновременно проводят и разлагаются 413
 - , отношение их подвижных элементов к проходящему току 923, 1704
 - , пропускание через них поляризованного света 951
 - , соли, рассматриваемые как электролиты 698
 - состоят из элементов, взятых в отношении один к одному, 679, 697, 830, 1707
 - твердые, их изолирующая и проводящая способность 419
- Электромагнит*, индуктивные действия в нем 1060
- Электромагнитная индукция*, ее определение 216, 366
- Электрометр Кулона*, описание 1180
- , пользование им 1183
- Электротоническое состояние* 60, 231, 242, 1144, 1661, 1729
- есть состояние напряжения 71
 - зависит от отдельных частиц 73
 - рассматривается как общее всем металлам 66
 - — проводникам 76
- Электрохимические эквиваленты* 824, 833, 835, 855
- всегда согласуются друг с другом 835
- Электрохимические эквиваленты*
- дают возможность определить атомный вес 851
 - , их таблица 847
 - , как их установить 837
 - суть те же химические эквиваленты 836, 839
- Электрохимическое возбуждение* 878, 919, 1738
- Электрохимическое разложение* 450 661
- , влияние при нем воды 472
 - , его теория 477
 - , новые условия его 453
 - , общие условия 669
 - , первичные и вторичные результаты 742
 - , терминология 661
 - является определенным 732, 783
 - *См. также* Разложение электрохимическое
- Элемент гальванический*, его электричество 875
- *См.* Батарея гальваническая
- Элементарные вещества*, вероятно, являются ионами 849
- Элементы выделяются на полюсах*, почему? 535
- силу тока 493, 520, 524
- Элементы*, их перенос 454, 538
- , не состоящие в соединении, не движутся 544, 546
 - , появляющиеся на обоих полюсах 552, 681, 757
- Эфир* мешает действию (платины) 651

ОГЛАВЛЕНИЕ



	Стр.
Предисловие	7
Первая серия (пп. 1—139)	
<i>Раздел 1.</i> Об индукции электрических токов	11
<i>Раздел 2.</i> Об образовании электричества из магнетизма	19
<i>Раздел 3.</i> О новом электрическом состоянии материи	31
<i>Раздел 4.</i> Объяснение магнитных явлений Араго	42
Вторая серия (пп. 140—264)	
<i>Раздел 5.</i> Земная магнито-электрическая индукция	67
<i>Раздел 6.</i> Общие замечания и пояснения относительно силы и направления магнито-электрической индукции	86
Третья серия (пп. 265—379)	
<i>Раздел 7.</i> Тожество отдельных видов электричества, происходящих от различных источников	110
<i>Раздел 8.</i> Количественные соотношения между обыкновенным и гальваническим электричеством	146
Четвертая серия (пп. 380—449)	
<i>Раздел 9.</i> О новом законе электрической проводимости	155
<i>Раздел 10.</i> Общие соображения об электрической проводимости	167
Пятая серия (пп. 450—563)	
<i>Раздел 11.</i> Об электрохимическом разложении	176
Глава I. Новые свойства электрохимического разложения	177

Глава II. Влияние воды на электрохимическое разложение . . .	185
Глава III. Теория электрохимического разложения	187

Шестая серия (пп. 564—660)

<i>Раздел 12.</i> О способности металлов и других твердых тел вызывать соединение газообразных тел	227
--	-----

Седьмая серия (пп. 661—874)

<i>Раздел 11.</i> Об электрохимическом разложении (продолжение). Предварительные соображения	265
Глава IV. О некоторых общих условиях электрохимического разложения	270
Глава V. О новом приборе для измерения гальванического электричества	280
Глава VI. О первичном или вторичном характере выделяющихся у электродов химических веществ	294
Глава VII. Об определенной природе и о размерах электрохимического разложения	310
<i>Раздел 13.</i> Об абсолютном количестве электричества, связанном с частицами или атомами материи	334

Восьмая серия (пп. 875—1047)

<i>Раздел 14.</i> Об электричестве гальванического элемента; его источник, количество, напряжение и основные свойства его . .	347
Глава I. О простых гальванических цепях	—
Глава II. О напряжении, необходимом для электролиза	390
Глава III. О составных гальванических цепях, или гальванической батарее	400
Глава IV. О сопротивлении электролита электролитическому действию и о введении промежуточных пластин . . .	409
Глава V. Общие замечания о гальванической батарее в действии	420

Девятая серия (пп. 1048—1118)

<i>Раздел 15.</i> Об индуктивном влиянии электрического тока на самого себя и об индуктивном действии электрических токов вообще . .	429
--	-----

Десятая серия (пп. 1119—1160)

<i>Раздел 16.</i> О гальванической батарее усовершенствованного типа .	457
--	-----

<i>Раздел 17.</i> Некоторые практические указания о конструкции гальванической батареи (1034 и т. д.) и пользовании ею	466
--	-----

Одиннадцатая серия (пп. 1161—1317)

<i>Раздел 18.</i> Об индукции	477
Глава I. Индукция — действие смежных частиц	—
Глава II. Об абсолютном заряде материи	482
Глава III. Электромметр и индуктивный прибор, служившие для опытов	487
Глава IV. Индукция по кривым линиям	503
Глава V. Об удельной индукции, или удельной индуктивной способности	520
Глава VI. Общие выводы относительно природы индукции. Добавление к «Экспериментальным исследованиям по электричеству, одиннадцатая серия	539

Двенадцатая серия (пп. 1318—1479)

<i>Раздел 18.</i> Об индукции (продолжение)	549
Глава VII. Проводимость, или кондуктивный разряд	550
Глава VIII. Электролитический разряд	562
Глава IX. Разрывной разряд и изоляция	570
Электрическая искра или вспышка	588
Электрический кистевой разряд	596
Различие между разрядами у положительной и отрицательной поверхностей проводников	614

Тринадцатая серия (пп. 1480—1666)

<i>Раздел 18.</i> Об индукции (продолжение)	621
Глава IX. Разрывной разряд (продолжение). Особенности положительного и отрицательного разрядов в форме искры или кисти	—
Разряд со свечением	639
Темный разряд	645
Глава X. Конвекционный разряд, или разряд путем переноса	653
Глава XI. Отношение пустоты к электрическим явлениям	674
<i>Раздел 19.</i> Природа электрического тока	677

Четырнадцатая серия (пп. 1667—1748)

<i>Раздел 20.</i> Природа электрической силы или сил	699
<i>Раздел 21.</i> Связь между электрической и магнитной силами	715
<i>Раздел 22.</i> Замечания об электрическом возбуждении	724

Приложения:

Т. П. Кравец, М. Фарадей и его «Экспериментальные исследования по электричеству»	733
Примечания редактора	781
Таблица перевода мер	806
Таблица химических обозначений элементов и соединений, упоминаемых Фарадеем	809
Указатель именной	810
Указатель предметный	812

Печатается по постановлению
Редакционно-издательского совета Академии Наук СССР

*

РИСО АН СССР № 2502. М-С6008. Подп. к печ. 5/VIII 1947 г. Бум. 70×92¹/₄
Печ. л. 53 + 2 вкл. Уч.-издат. л. 48¹/₂. Тираж 5:00.
Цена в переплете 43 руб.

*

Набрано во 2-й типографии „Печатный Двор“ им. А. М. Горького треста „Полиграф-
книга“ ОГИЗ’а при Совете Министров СССР. Ленинград, Гатчинская, 26. Зак. 549
Отпечатано с матриц во 2-й тип. Издат. Академии Наук СССР.
Москва, Шубинский пер., 10. Зак. 3249.