П. Лакуръ и Я. Аппель

Историческая Физика.



Переводъ съ нѣмецкаго подъ редакціей

„Вѣстника Опытной физики и Элементарной Математики".

MATHESIS

Одесса, 1908 г.

http://mathesis.ru

Типографія М. Шпенцера, Одесса, ул. Новосельскаго, 66.

http://mathesis.ru

ТОМЪ I

Міроздaніе, до 1630—Свѣтъ до Ньютона—Сила—Міроздaніе, послѣ 1[illegible] г.—Природа свѣта—Спектральный анализъ

Съ 419 рисунками и портретами въ текстѣ, звѣздной картой и таблицей спектровъ Бунзена и Кирхгоффа.

http://mathesis.ru

http://mathesis.ru

Предисловіе авторовъ

Для того чтобы изложить какую-нибудь науку въ возможно сжатой формѣ, обыкновенно обращаются къ систематическому изложенію ея, т. е. сперва приводятъ общіе законы, а затѣмъ даютъ нѣсколько примѣровъ, поясняющихъ и подтверждающихъ эти общіе законы. Но къ познанію этихъ законовъ мы обыкновенно приходимъ прямо противоположнымъ путемъ: мы сначала знакомимся съ отдѣльными явленіями, а затѣмъ уже открываемъ ихъ внутреннюю связь.

Первый способъ обыкновенно ведетъ къ цѣли скорѣе, но тотъ путь, который прилегаетъ возможно близко къ пути историческаго опыта, несомнѣнно имѣетъ на своей сторонѣ преимущество гораздо большей основательности.

Что касается преподаванія естествознанія, то преподаватель, умѣющій правильно цѣнить методъ историческаго опыта, никогда не забудетъ сначала напомнить ученикамъ знакомыя явленія или познакомить ихъ съ менѣе извѣстными, а потомъ уже укажетъ самый законъ. Это несомнѣнно даетъ иногда возможность извѣстнымъ образомъ возбудить слушателя и сдѣлать его воспріимчивымъ къ объясненію, котораго при такихъ условіяхъ онъ будетъ внимательно ждать, но которое, пожалуй, вовсе не заинтересовало бы его безъ такой предварительной подготовки. Однако, чтобы заставить слушателя понять цѣнность и значеніе даннаго закона и надлежащимъ образомъ возбудить его вниманіе, двухъ—трехъ фактовъ часто будетъ недостаточно.

Но пусть изучающій пойдетъ той дорогой, которая привела къ открытію закона на самомъ дѣлѣ, пусть онъ, такъ сказать, самъ найдетъ этотъ законъ—и тогда найденное станетъ такой его духовной собственностью, какой никогда не можетъ стать законъ, предлагаемый ему въ готовомъ видѣ.

Противъ такого метода есть только одно возраженіе. Именно, онъ требуетъ больше времени, чѣмъ способъ систематическій. Но въ области общаго образованія, гдѣ этотъ упрекъ дѣлается чаще всего, онъ не имѣетъ никакого основанія.

Кто хорошо знакомъ съ началами естествознанія или математики, тотъ, пожалуй, дѣйствительно расширитъ свои познанія быстрѣе всего систематическимъ путемъ. Но почему большинство людей, обладающихъ нѣкоторыми общими свѣдѣніями по физикѣ, такъ плохо понимаютъ явленія природы, когда встрѣчаются съ ними въ жизни? Просто потому, что они познакомились съ законами природы, о которыхъ они, пожалуй, даже много слышали и читали, не тѣмъ способомъ, который отвѣчаетъ исторической дѣйствительности.

Поэтому для большинства время, конечно, не пропадетъ даромъ, если работа будетъ идти безъ излишней спѣшки. Для дальнѣйшаго изученія природы лучше ос-

http://mathesis.ru

новательно познакомиться съ немногими ея явленіями, чѣмъ механически заучить длинный перечень положеній, не переработавъ ихъ основательно.

Учитель долженъ думать прежде всего о томъ, чтобы идти въ преподаваніи впередъ съ необходимымъ спокойствіемъ, не портя наслажденія предметомъ у учениковъ и не рискуя успѣхомъ преподаванія. Употребляя выигранное время на повтореніе, вреда не поправишь, такъ какъ повтореніе состоитъ чаще всего въ усвоеніи учебнаго матеріала одною памятью.

Нельзя, конечно, сомнѣваться въ томъ, что не одинъ добросовѣстный учитель отнимаетъ у себя время, выискивая побольше такихъ примѣровъ, чтобы вызвать въ своихъ слушателяхъ надлежащую воспріимчивость и возбудить ихъ желательнымъ образомъ. Какъ ни отрадны такія явленія, но все же это лишь отдѣльныя личныя стремленія. Если такой учитель составитъ даже собственный учебникъ съ огромной массой примѣровъ, его методъ не станетъ общимъ, такъ какъ онъ не сможетъ достигнуть того, чтобы его личный методъ былъ безусловно принятъ всѣми учителями.

Есть только одинъ методъ, авторитетъ котораго долженъ быть признанъ всѣми безъ исключенія. Это тотъ именно методъ, который выработали не отдѣльные авторы, а все человѣчество — методъ историческій. И если автору или учителю при помощи этого метода не удастся иной разъ сдѣлать завоеванія человѣчества вполнѣ доступными своимъ читателямъ и ученикамъ, то, несомнѣнно, вина будетъ лежать только на немъ самомъ и этотъ недостатокъ вполнѣ устранимъ. Что человѣчество дѣлало свои великіе шаги впередъ не какимъ-нибудь неестественнымъ путемъ, а также, что наше поколѣніе не можетъ выполнить своей роли наслѣдника прошлаго лучше, какъ принявъ наслѣдство отъ отцовъ исторически, все это такъ же достовѣрно, какъ и то, что мы обязаны знать великія имена, о которыхъ говоритъ исторія физики. — Настоящая книга, строго говоря, не исторія физики; это только попытка ввести въ физику начинающаго тѣмъ путемъ, который предуказанъ историческимъ развитіемъ науки, и авторы льстятъ себя надеждой, что имъ удалось придти къ этой цѣли вѣрной дорогой.

Общій историческій фонъ настоящаго изложенія физики предполагается вообще извѣстнымъ. Преподаваніе общей исторіи, благодаря такому историческому введенію въ физику, получаетъ важное дополненіе, до сихъ поръ еще не цѣнимое достаточно, несмотря на то, что отношеніе человѣка къ силамъ природы играло важную роль въ исторіи и въ культурной жизни. Но прежде всего преподаваніе самой физики получаетъ при этомъ естественную педагогическую основу. Такимъ образомъ, эту книгу въ сущности можно считать также учебникомъ физики и пользоваться ею, какъ учебникомъ.

Если она по формѣ, пожалуй, и отличается отъ систематическихъ учебниковъ физики, то все же въ ней, можетъ быть, окажется та систематичность, которая обязательна во всякомъ преподаваніи.

---

http://mathesis.ru

Содержаніе

§§ 1—74. **Міросзданіе; до 1630 г.** *Стр.*

Древнѣйшіе культурные народы 3
Греки 18
Арабы 44
Зарожденіе астрономіи въ Западной Европѣ 46

§§ 75—111. **Свѣтъ**

Отъ древнѣйшихъ временъ до Ньютона 71

§§ 112—270. **Сила**

Равновѣсіе твердыхъ тѣлъ 109
Движеніе 144
Часы 151
Другія криволинейныя движенія 159
Параллелограммъ силъ 167
Ударъ 170
Энергія 174
Жидкости 175
Удѣльный вѣсъ 189
Приборы, основанные на свойствахъ воды и воздуха 194
Воздушный океанъ 214

§§ 271—333. **Міросзданіе; послѣ 1630 г.**

Земной шаръ 249
Скорость свѣта 256
Исаакъ Ньютонъ 268
Неподвижныя звѣзды 304

§§ 334—377. **Звукъ**

Звукъ 321

§§ 378—420. **Природа свѣта**

Цвѣта 367

§§ 421—442. **Спектральный анализъ**

Спектральный анализъ 409

Алфавитный указатель 431

http://mathesis.ru

Систематическій обзоръ содержанія I тома

Мірозданіе

Вспомогательныя средства: математика 4, 18, 19, 48, 116—118, 194, 270, 276, 278; обсерваторіи 4, 57—58, 62, 259, 260; инструменты 4, 11, 12, 24, 28, 29, 31, 51, 57, 60, 99, 250, 251, 271, 312; глобусъ 7, 24; звѣздныя карты 5; измѣреніе отдаленности недоступныхъ предметовъ 18, 25—27, 39, 288—292, 314—316; метръ и граммъ 113—114, 255—256; черченіе картъ 36—39.

Астрологія: предсказанія 3, 55, 66.

Земной шаръ: воззрѣнія древнихъ 20, 21; тарообразность 20—22, 50—51; широта и долгота 34—36; размѣры земли 23, 39, 45, 249—254; тріангуляція 249; форма земли (градусныя измѣренія) 249—255; движенія земли 23—25, 40, 48, 276, 278; прецессія 32—34, 300—301; центробѣжная сила на экваторѣ 253; вѣсъ земли 284—287, 300; тяжесть 299; разстояніе земли отъ солнца 26—27, 39, 289—290; приливы и отливы 301—303; преломленіе лучей въ атмосферѣ 41—42.

Солнце: видимый путь 6, солнцестоянія и равноденствія 7—8, 11; эклиптика 7—8; точка Овна 8, 32—34; наклонъ эклиптики 13; мѣсто солнца на эклиптикѣ 30, 48; время обращенія 11, 32, 33; солнечные часы 31; разстояніе солнца отъ земли 26—27, 39, 289—290; величина солнца 27, 291; масса солнца 283, 291; солнечныя затменія 18, 20; солнечныя пятна 140, 290, 425; солнечные факелы 425; протуберанцы 425 и сл; строеніе солнца 424 и сл.

Луна: видимый путь 6, время обращенія 8, фазы луны 8, орбита 8, 272, 283; лунныя затменія 17, 21, 40; поверхность 139, 292, 293; масса 283; приливы и отливы 301—303.

Планеты: видимое движеніе 9, 48, 53—54; дѣйствительное движеніе 65; разстояніе отъ солнца 65, 288—291; время вращенія 290, 303; прохожденія Венеры 289; массы 283—284, 291; возмущенія 287—288; фазы Венеры 140; время обращенія 291; Марсъ 140, 291, 293—295; спутники Юпитера 138, 258—259; Сатурнъ 140, 155—156, 291—292, 306; Уранъ 287, 291, 306; Нептунъ 287—288; спектры планетъ 430.

Кометы: 9, 297—299, 430.

Неподвижныя звѣзды: звѣздное небо 5, 307; кругъ незаходящихъ звѣздъ 5; зенитъ и надиръ 12; полюсы міра 5, 6; оріентировка 9, 10; звѣздная карта 5; созвѣздія 6; каталоги звѣздъ 28, 42; вращеніе небеснаго свода 5, 6, 21—22; дневныя и ночныя дуги 6; опредѣленіе мѣста звѣзды 12; при помощи меридіаннаго круга 28—30, 59—60; преломленіе лучей въ атмосферѣ 41—42; параллаксъ 25, 62, 260, 308, 314—316; аберрація 260—263; величина 308, 317; двойныя звѣзды 309—310; звѣздныя скопленія и туманности 311; Млечный Путь 139, 310—311; новыя звѣзды 56; цвѣта звѣздъ 311; невидимыя звѣзды 317; спектры неподвижныхъ звѣздъ 429.

Время: подраздѣленіе времени 4; солнечныя и звѣздныя сутки 30—31; солнечные часы 31; уравненіе времени 31; универсальное время 36; длина года 11, 31—32; календарь 14—17, 48, 75, 259; мѣсяцы 15—18; недѣля 16—17.

http://maimesis.ru

Системы и законы: древнія системы 19—21; Аристархъ 23—28; теорія эпицикловъ 42—44; система Птолемея 42—44; система Коперника 52—54, 141; система Тихо 63; законы Кеплера 65; законъ притяженія Ньютона 272—288.

Свѣтъ

Прямолинейность распространенія: законъ 71; направленіе лучей 73—74, 389; перспектива 72; тѣнь 73; камера-обскура 74—75, 94—95; законъ убыванія яркости съ разстояніемъ 77; фотометрія 78—79.

Отраженіе: законъ 80—81, 386, 390; кратчайшій путь 80—81; оптическіе обманы 81—83 калейдоскопъ 83; вогнутое зеркало 83—87; выпуклое зеркало 87—88; полное внутреннее отраженіе 100.

Преломленіе: законъ 41, 88—90, 99—100, 386, 390; стеклянныя пластинки 90; призма 90; собирательная линза 91—93; разсѣивающая линза 93—94; камера-обскура съ линзой 94; Laterna magica 95; зрительная труба 96—98; увеличительное стекло 93, 98; микроскопъ 98—99; очки 102.

Двойное преломленіе: 383—385, 397, 403; Николева призма 404.

Глазъ: глазъ есть камера-обскура 102; свойства глаза 102—104, 373; стереоскопъ 105; глазное зеркало 344—345; цвѣтовое ощущеніе 381—382; длительность его 382.

Цвѣта: призматическіе цвѣта 367; спектръ Ньютона 368, 409; въ бѣломъ свѣтѣ содержатся всѣ цвѣта 368—372; ахроматическая линза 373—374; радуга 374—378; цвѣта предметовъ 379—380, 392; флуоресценція 380—381; основные, дополнительные и контрастные цвѣта 381--382; Ньютоновы кольца 387, 393—395; интерференціонные цвѣта 383, 396.

Теоріи свѣта: теорія Демокрита 385; Ньютонова теорія истеченія 385—388, 391; опытъ Гримальди 382—383; волнообразная теорія Гука 383; волнообразная теорія Гюйгенса 389—390; интерференція 396, 401—402, 413—415; длины волнъ 395; эѳиръ 389, 402—403; свѣтъ и магнитизмъ 405.

Поляризація: поляризованный свѣтъ 397; уголъ поляризаціи 400; колебанія въ поляризованномъ лучѣ 403; вращеніе плоскости поляризаціи 404.

Спектральный анализъ: чистый спектръ 409; Фраунгоферовы линіи 410, 411, 418, 424, 428; спектроскопъ 420—423; диффракціонный спектроскопъ 423; спектральныя линіи 416, 418—423, 426—429; причина Фраунгоферовыхъ линій 418—420, 424; спектры металловъ 422; спектръ водорода 423; различные типы спектровъ 423; спектры звѣздъ 429; спектры планетъ и кометъ 430.

Сила

Равновѣсіе твердыхъ тѣлъ: рычагъ 109, 118—119; статическій моментъ 126; центръ тяжести 119—125; безменъ 112—113; устойчивое, неустойчивое и безразличное равновѣсіе 123—124; начало возможныхъ перемѣщеній или скоростей 129—132; вѣсы Роберваля 130; блокъ и полиспастъ 114—129; другія простыя машины 114, 130—134; равновѣсіе на наклонной плоскости 133—134.

Движеніе: законъ инерціи 144; сложеніе движеній и силъ 145, 160—162, 167—170; свободное паденіе 135—137, 145—147; бросаніе вертикально вверхъ 147—148; паденіе по наклонной плоскости 148—149, 167—168; маятникъ 134, 149—150, 156—158; водяные и песочные часы 151—153; старые часы съ гирями 153—154; часы съ маятникомъ 156—157; циклоидальный маятникъ 158; часы съ балансиромъ 158; движеніе брошеннаго тѣла 161—163; центробѣжная сила 164—166; ударъ 170—173; энергія 174—175; машины и двигатели 208; водяныя и вѣтряныя мельницы 205—214.

http://mathesis.ru

Равновѣсіе жидкостей: давленіе въ жидкостяхъ 181, 183 – 187; гидравлическій прессъ 188; потеря вѣса въ водѣ 180, 189—190; давленіе вверхъ на тѣло въ жидкости 181; плаваніе тѣлъ 179, 181—182; сообщающіеся сосуды 182; удѣльный вѣсъ 180, 189—193; ареометръ 190 — 192; водочерпалки 178; клапанъ и кранъ 201 — 202; водяныя и вѣтряныя мельницы 205—214; истеченіе жидкостей 219.

Воздухъ: пустота 195 — 197, 214 — 218, 221, 224 — 228, 232 — 233; воздухъ 196; вѣсъ воздуха 228, 238 — 239; расширеніе воздуха 232, 235 — 236; сжимаемость воздуха 215, 234; законъ Бойля 234—237; барометръ 218; давленіе воздуха 218, 223; 228, 234; воздушный океанъ 218, 222; измѣреніе высотъ при помощи барометра 237 — 238; сифонъ 197 — 198, 200, 222; пипетка 199; Героновъ шаръ 202; сосудъ Маріотта 239; пожарный насосъ 204 — 205; нагнетательный насосъ 204—205, 239; всасывающій насосъ 205; воздушный или пневматическій насосъ 225—233; насосъ для сжиманія воздуха 239 — 243; воздухъ въ жидкостяхъ 230 — 231; двигатели съ сжатымъ воздухомъ 240 — 241; водолазный колоколъ 241 — 243; воздухоплаваніе 243 — 246; парусное судно 213; вѣтряная мельница 207 — 208, 213 — 214.

Звукъ

Звукъ: звуки производятся колебаніями 323; высота тона 323; колебанія струнъ 323, 340—342; біенія 324; абсолютное число колебаній 325; тоны Тартини 325; распространеніе волнъ въ водѣ 326; распространеніе звука 325 — 326; распространеніе волнъ въ воздухѣ 331; скорость звука въ воздухѣ 331 — 333, въ другихъ тѣлахъ 333 — 335; форма воздушныхъ волнъ 335 — 336; вліяніе вѣтра 336; отраженіе и преломленіе звуковыхъ волнъ 336 — 338, сложеніе звуковыхъ волнъ 339; интерференція звуковыхъ волнъ 339 — 340; симпатическіе тоны 340; основной тонъ и обертоны 342; фигуры на звучащихъ пластинкахъ 342 — 344; резонаторы 345 — 347; звучащія трубы 321, 323, 346 — 347, 354 — 355; созвучія 348 — 350; интервалы 348 — 352; сирена 353; голосъ 355 — 356; гласныя 356 — 358; согласныя 358; фонографъ 359—360; ухо 360 — 363.

http://mathesis.ru

Мірозданіе

Свѣдѣнія и открытія до 1630 г.

http://mathesis.ru

http://mathesis.ru

Древнѣйшіе культурные народы

1. На обширныхъ равнинахъ Востока, гдѣ климатъ мягокъ и гдѣ почва оплодотворяется большими рѣками и ихъ разливами, человѣчество рано достигло той ступени умственнаго развитія и такихъ условій общественной жизни, которыя позволили ему отдаться высшимъ интересамъ, позволили удовлетворять врожденному стремленію человѣка заниматься вопросами, на первый взглядъ далекими отъ его матеріальныхъ нуждъ. И часто оказывалось, что это стремленіе вѣрнѣе вело къ удовлетворенію его нуждъ, чѣмъ дѣятельность, непосредственно направленная къ этой цѣли.

Египтяне на Нилѣ, халдеи на Евфратѣ и Тигрѣ, индусы на Индѣ, Гангѣ и Брамапутрѣ и китайцы на Гоанго и Янцекіангѣ жили въ такихъ благопріятныхъ условіяхъ, что дѣятельность ихъ могла не ограничиваться исключительно пропитаніемъ и войной и обращалась на многія другія задачи. У всѣхъ этихъ народовъ мы находимъ классъ людей, который обыкновенно называютъ жреческимъ сословіемъ и силы котораго посвящались особымъ занятіямъ. Сюда, само собою разумѣется, относились прежде всего религіозныя обязанности, но кромѣ того и многіе другіе виды дѣятельности, которыми теперь занимаются врачи, судьи, писатели, архитекторы и др. Въ тѣ времена люди были очень консервативны и ихъ дѣятельность регулировалась обыкновенно разъ навсегда установленными правилами, выполненіе которыхъ дѣлалось священнымъ долгомъ, хотя бы дѣло шло даже о совершенно внѣшнихъ вещахъ, напримѣръ, о формѣ зданій и др. А потому и прогрессъ могъ идти лишь медленно; но то, что было разъ пріобрѣтено, тѣмъ лучше закрѣплялось долгимъ повтореніемъ и испытаніемъ.

Нужно думать, что жреческое сословіе занималось также и исканіемъ болѣе глубокой связи между явленіями природы, чѣмъ та, которая обнаруживается непосредственно. Народы древности, во всякомъ случаѣ, смутно чувствовали такую связь, хотя и составляли себѣ о ней совершенно невѣрное представленіе. Такъ, они думали, что явленія природы предназначены давать указанія относительно будущаго. Они строили свои предсказанія на наблюденіи внутренностей жертвенныхъ животныхъ, на полетѣ птицъ, на движеніи облаковъ, на измѣненіи песочныхъ фигуръ при ударѣ по диску, на которомъ онѣ были нарисованы и т. д. Остатки подобныхъ суевѣрій сохранились и до нашего времени. Такъ, по цвѣту грудной кости гуся, свѣтлому или темному, заключаютъ о томъ, будетъ ли зимою много снѣга или мало.

Немногимъ иначе обстояло дѣло и съ объясненіемъ движеній и вида небесныхъ свѣтилъ. Предсказаніе по звѣздамъ, составленіе гороскопа, т. е. опредѣленіе судьбы какого-либо лица на основаніи расположенія свѣтилъ въ моментъ его рожденія, составляло одну изъ важныхъ частей науки о звѣздахъ не только въ древности, но

http://mathesis.ru

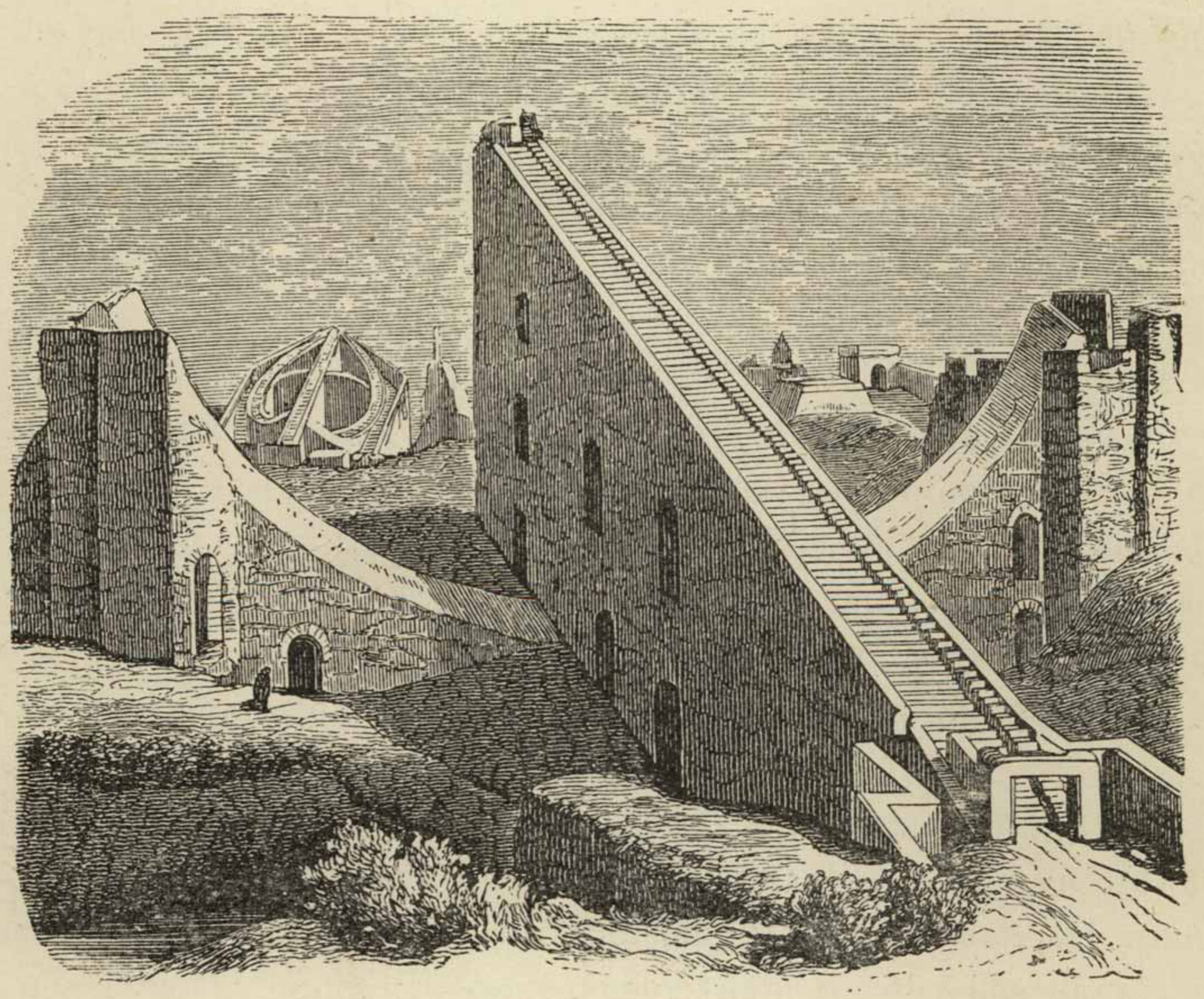
даже и до новыхъ временъ; оно существуетъ въ нѣкоторыхъ странахъ, напримѣръ, въ Китаѣ, еще и теперь.

Хотя такія предсказанія имѣли столь же мало цѣны, какъ и тѣ, о которыхъ мы упоминали выше, но эти стремленія представляютъ въ извѣстной мѣрѣ исходную точку или подготовку настоящаго изслѣдованія природы. Именно, движеніе свѣтилъ наблюдалось съ религіозной добросовѣстностью.

У названныхъ народовъ условія для этихъ наблюденій были особенно благопріятны. Въ ихъ странахъ звѣздное небо сіяетъ съ такой красотой и съ такимъ блескомъ, какого мы не знаемъ въ нашемъ воздухѣ, всегда болѣе или менѣе туманномъ, при нашихъ свѣтлыхъ лѣтнихъ ночахъ. Въ тѣхъ странахъ ночное небо всегда достаточно темно, а ночной воздухъ всегда мягокъ и позволяетъ долго оставаться подъ открытымъ небомъ; и горизонтъ въ большихъ равнинахъ обыкновенно очень чистъ.

Къ этому нужно прибавить, что при установившихся уже условіяхъ общественной жизни возникаетъ потребность въ правильномъ подраздѣленіи времени, а

Рис 1



Индійская обсерваторія въ Дели.

протекающія правильной чередой небесныя явленія, какъ скоро было замѣчено, оказываются для этого наиболѣе пригодными.

Въ силу всего этого люди старались съ величайшей точностью наблюдать, измѣрять и опредѣлять положенія и движеніе свѣтилъ. Они дѣлали инструменты, часто въ видѣ огромныхъ построекъ съ опредѣленными визирными линіями, они изобрѣтали методы наблюденія и положили начало математикѣ, которую суждено было позднѣе усовершенствовать грекамъ и которая, вмѣстѣ съ измѣрительными приборами, составляетъ необходимую основу всякаго изслѣдованія природы, достигающаго извѣстной степени совершенства.

http://mathesis.ru

Такимъ образомъ звѣздное небо стало учителемъ человѣчества. Если мы теперь странствуемъ по далекимъ морямъ и по сѣти желѣзныхъ дорогъ при помощи пара, если мы умѣемъ телеграфировать и т. п., то въ основѣ всего этого лежитъ развитіе культуры, которое можно прослѣдить вплоть до начатковъ древней астрономіи. Если древніе въ своихъ наблюденіяхъ добивались совершенно иныхъ цѣлей, то это доказываетъ только, что стремленіе углубляться въ тѣ вопросы, непосредственную пользу которыхъ нелегко видѣть, заслуживаетъ глубокаго почтенія. Нельзя смотрѣть пренебрежительно на работы древнихъ и прежде всего на ихъ наблюденія звѣзднаго неба, которыя стали не только основой нашего господства надъ силами природы, но которыя и сами по себѣ имѣютъ что-то притягательное для насъ, какъ и для древнихъ, несмотря на то, что мы знаемъ уже, что сама земля есть только незначительная часть вселенной.

2. Мы обратимъ наше вниманіе прежде всего на звѣздное небо, которое, въ существенныхъ чертахъ, имѣетъ у насъ тотъ же видъ, какой оно имѣетъ въ другихъ странахъ, какой оно имѣло въ древности. Куда бы мы ни направлялись, всюду и всегда мы находимъ эту неизмѣнную картину звѣзднаго неба. Съ помощью звѣздной карты, приложенной къ этой книгѣ, легко познакомиться съ важнѣйшими звѣздами.

При нѣкоторомъ вниманіи можно скоро замѣтить, что звѣзды всегда сохраняютъ одно и то же положеніе другъ относительно друга, что въ этомъ смыслѣ онѣ неподвижны (fixae). Каждому, конечно, извѣстны тѣ семь звѣздъ, которыя составляютъ Большую Медвѣдицу или Небесный Возъ, состоящій изъ четыреугольника (колесъ) и дуги (дышла).

Созвѣздіе Большой Медвѣдицы не остается, однако, всегда на одномъ и томъ же мѣстѣ неба, а движется вокругъ нѣкоторой точки сѣвернаго неба, такъ называемаго полюса міра, вблизи котораго находится Полярная звѣзда (рис. 6). Послѣдняя лежитъ на линіи, проходящей черезъ два заднихъ колеса Воза, а разстояніе ея отъ Воза приблизительно равно его длинѣ. Полярная звѣзда является крайней въ дышлѣ Малаго Воза или Малой Медвѣдицы. Это созвѣздіе также состоитъ изъ семи звѣздъ, образующихъ четыреугольникъ и дугу.

Теперь не трудно замѣтить, что всѣ другія звѣзды—совершенно такъ же, какъ Возъ—въ теченіе сутокъ совершаютъ оборотъ вокругъ небеснаго полюса, не мѣняя своего относительнаго положенія (рис. 2).

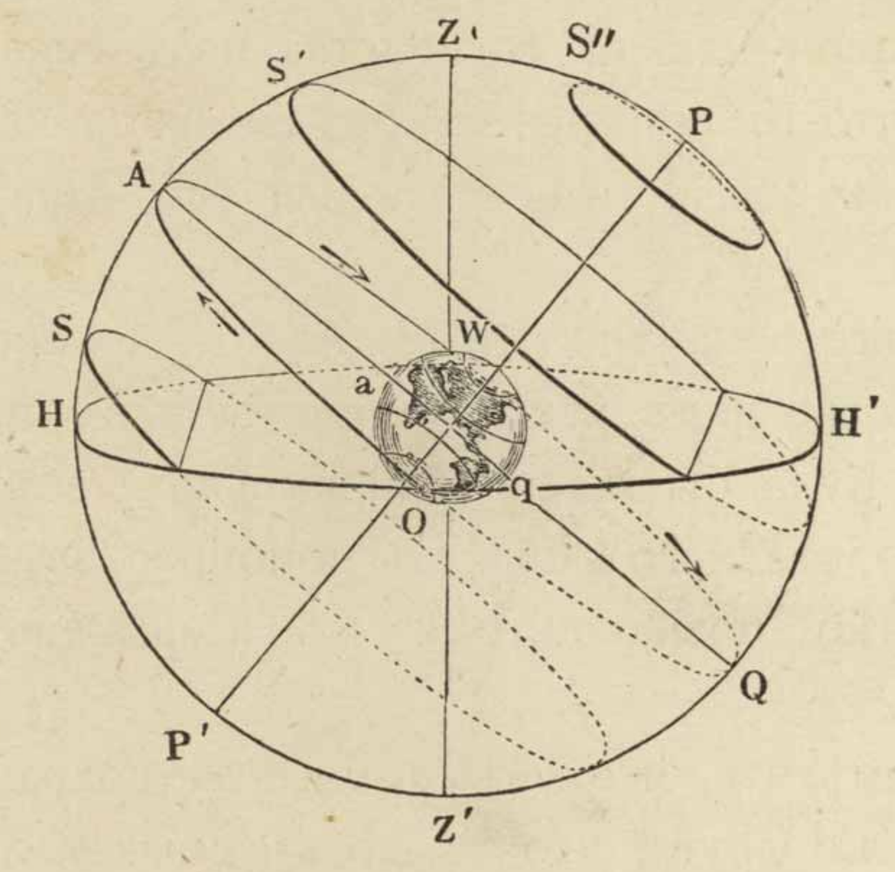
Звѣзды, которыхъ разстояніе отъ полюса меньше, чѣмъ разстояніе PH' (рис. 2) полюса отъ горизонта HH', какъ легко видѣть, никогда не заходятъ. Такія звѣзды, напр. S'', называются незаходящими звѣздами. Нѣсколько болѣе далекія отъ полюса звѣзды, напр. S', заходятъ лишь немного подъ сѣверную часть горизонта. Онѣ исчезаютъ въ какой-нибудь точкѣ между сѣверомъ и западомъ и восходятъ въ какой-нибудь точкѣ между сѣверомъ и востокомъ. Время, въ теченіе котораго ихъ не видно, тѣмъ короче, чѣмъ ближе онѣ къ полюсу, слѣдовательно, чѣмъ дальше къ сѣверу онѣ заходятъ и восходятъ.

Тѣ звѣзды, которыя удалены отъ сѣвернаго полюса настолько, что восходятъ какъ разъ на востокѣ O и заходятъ какъ разъ на западѣ W, остаются на небѣ впродолженіе двѣнадцати часовъ. Кругъ, описываемый такими звѣздами, носитъ названіе небеснаго экватора, $OAWQ$.

http://mathesis.ru

Звѣзды, лежащія еще дальше отъ сѣвернаго полюса, восходятъ между востокомъ и югомъ, а заходятъ между западомъ и югомъ. Онѣ подымаются на небѣ не высоко и, если представлять себѣ небо въ видѣ полной сферы, то нетрудно вообразить неподвижную точку, которая лежитъ настолько же ниже южной части горизонта, насколько сѣверный полюсъ лежитъ выше сѣверной его части. Эту точку P' называютъ южнымъ полюсомъ неба.

Рис. 2



Вращеніе небеснаго свода.

Путь звѣзды по видимому небу называется ея дневной дугой, остальная часть ея суточнаго пути—ночной дугой. Соотвѣтственно этому экваторіальныя звѣзды имѣютъ 12-часовую дневную дугу. Для звѣздъ къ сѣверу отъ экватора дневная дуга больше 12 часовъ, для звѣздъ къ югу отъ экватора она меньше 12 часовъ.

Такъ называемыя созвѣздія, тѣ фигуры, которыя фантазія древнихъ нарисовала около различныхъ звѣздныхъ группъ, а также названія, которыми мы еще теперь обозначаемъ эти группы и даже отдѣльныя звѣзды, происходятъ большей частью изъ Халдеи, Египта, Греціи. Однако, и именно въ той части неба, которая лежитъ около южнаго полюса и которой древніе не знали, попадаются и современныя названія, какъ, напримѣръ, Воздушный Насосъ и Электрическая Машина.

Для изученія свѣтилъ съ помощью звѣздной карты удобно начинать съ Большой Медвѣдицы или Полярной звѣзды. Если взять эту карту такъ, чтобы ея центръ закрылъ Полярную звѣзду, и затѣмъ повернуть ее такъ, чтобы изображеніе Большой Медвѣдицы помѣщалось въ той сторонѣ, гдѣ въ этотъ моментъ видно само созвѣздіе, то эта карта дастъ изображеніе и остального неба. Позднѣе ночью или въ томъ же часу, но въ болѣе позднее время года на востокѣ восходятъ звѣзды, которыя раньше были подъ горизонтомъ, между тѣмъ какъ другія звѣзды исчезаютъ на западѣ.

3. Познакомившись сперва съ звѣздами и обративъ затѣмъ свое вниманіе на тѣ звѣзды, между которыми въ какой-нибудь вечеръ находится луна, мы замѣтимъ на слѣдующій вечеръ, что луна, конечно, приняла участіе въ общемъ движеніи свода съ востока на западъ, но что она, кромѣ того, передвинулась между звѣздами на замѣтное разстояніе къ востоку. Итакъ, луна не неподвижна, она движется въ направленіи, противоположномъ направленію общаго движенія. Приблизительно въ 28 дней луна совершаетъ такимъ образомъ полный оборотъ. Это дало поводъ китайцамъ и индусамъ раздѣлить звѣзды на 28 группъ, изъ которыхъ каждая простиралась отъ полюса до полюса и занимала на экваторѣ одну двадцать восьмую часть его окружности. Этотъ способъ раздѣленія неподвижныхъ звѣздъ на такъ называемые „лунные дома“ у насъ не удержался.

Вслѣдствіе своего движенія въ направленіи къ востоку луна восходитъ съ каждымъ днемъ позднѣе.

4. Солнце и звѣзды не бываютъ видимы одновременно, однако древніе скоро замѣтили, что солнце также не неподвижно. Оно также движется между непо-

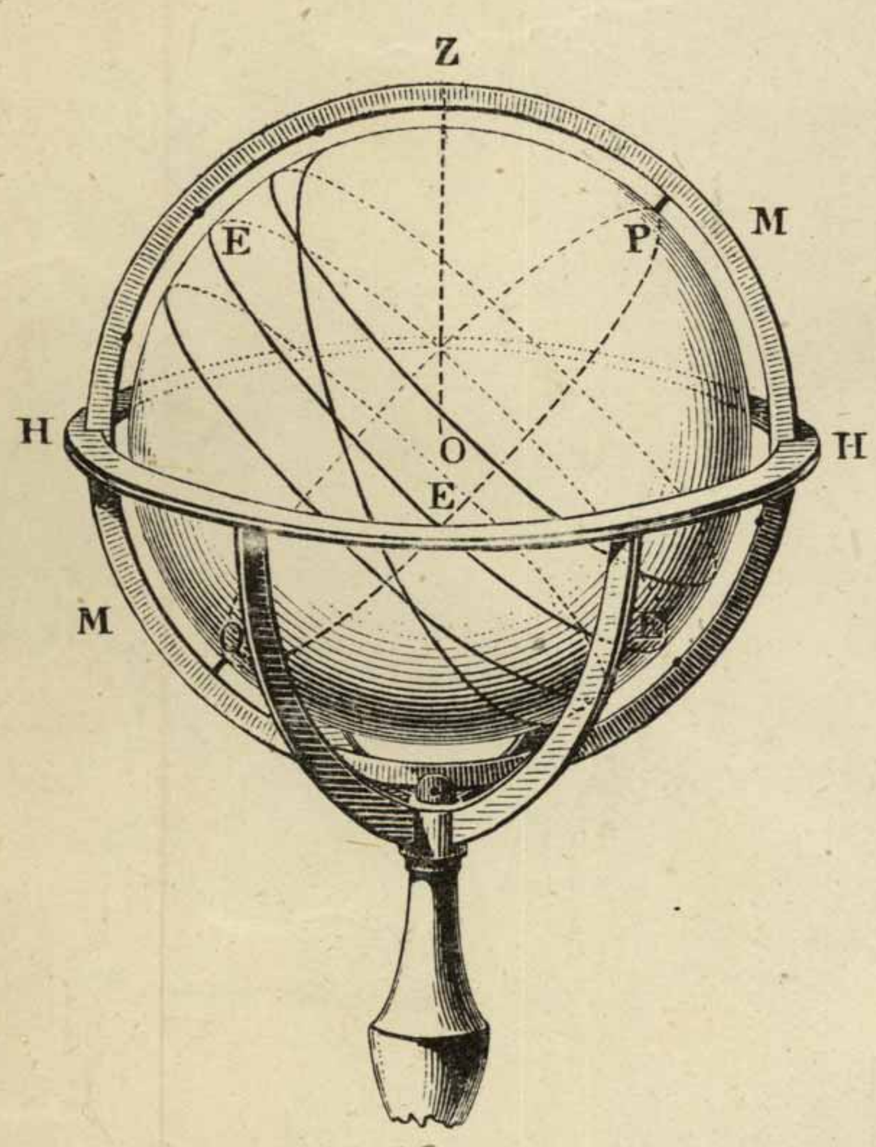
http://mathesis.ru

движными звѣздами и почти по тому самому пути, что и луна, но только не такъ скоро. Для полнаго оборота ему нуженъ цѣлый годъ.

Еслибы какая-нибудь звѣзда въ извѣстное время находилась приблизительно въ томъ же направленіи, какъ и солнце, т. е. восходила бы одновременно съ нимъ и потому была бы невидима, то впослѣдствіи, съ движеніемъ солнца дальше къ востоку, эта звѣзда въ извѣстный утренній часъ появится на восточной сторонѣ неба за нѣсколько времени до восхода солнца. Это такъ называемый геліакическій (helios=солнце) восходъ звѣзды. Такимъ образомъ древніе египтяне замѣтили, что Сиріусъ, самая яркая неподвижная звѣзда на всемъ небѣ, которую въ нашихъ краяхъ можно видѣть зимою въ южной части неба, въ тѣ времена становилась видимой въ лучахъ утренней зари за нѣсколько недѣль до наступленія разлитія Нила. Отсюда, по аналогіи съ чуткой собакой, она получила названіе Песьей Звѣзды. Другая группа звѣздъ вблизи нея получила названіе Малаго Пса.

5. Тотъ путь, который солнце описываетъ на небѣ, хотя и не удаляется значительно отъ экватора, но не вполнѣ совпадаетъ съ нимъ. Именно, лѣтомъ солнце движется сѣвернѣе экватора, слѣдовательно, по сѣверному полушарію неба, а зимою къ югу отъ экватора, слѣдовательно, по южному полушарію неба. Солнце переходитъ черезъ экваторъ 21 марта и 23 сентября. Въ эти дни дневная дуга солнца достигаетъ 12 часовъ. Такова же и его ночная дуга. Эти дни носятъ названіе равноденствій—весенняго и осенняго. Тѣ же дни, когда солнце находится всего дальше къ сѣверу или къ югу, называются соотвѣтственно лѣтнимъ солнцестояніемъ и зимнимъ солнцестояніемъ (солнцеворотъ).

Рис. 3



Небесный глобусъ. *H H* горизонтъ, *H Z M H* меридіанъ, *P Q* ось міра, *E E* экваторъ.

Тогда какъ неподвижныя звѣзды можно нарисовать на поверхности шара разъ навсегда въ томъ относительномъ положеніи, какое онѣ всегда занимаютъ на небѣ, солнце пришлось бы наносить каждый день на другомъ мѣстѣ. Путь, который солнце описываетъ такимъ образомъ между неподвижными звѣздами въ теченіе года, представляетъ собою кругъ, плоскость котораго наклонена къ плоскости экватора и который получилъ наименованіе зодіака или эклиптики. Рис. 3 представляетъ небесный глобусъ. Онъ можетъ вращаться на двухъ шипахъ P и Q, представляющихъ полюсы міра; одна половина этого шара лежитъ выше кольца HH, представляющаго горизонтъ. При вращеніи шара экваторъ EE очевидно движется въ своей собственной плоскости, такъ что не только полюсы міра, но и небесный экваторъ занимаютъ всегда одно и то же мѣсто. Напротивъ, эклиптика (на нашемъ рисункѣ кругъ, который пересѣкаетъ экваторъ подъ острымъ угломъ) движется такъ, что въ извѣстное время сутокъ она стоитъ высоко надъ горизонтомъ, а 12 часовъ спустя гораздо ближе къ горизонту.

Созвѣздія зодіака, по которымъ названы отдѣльныя части его, имѣютъ доисто-

http://mathesis.ru

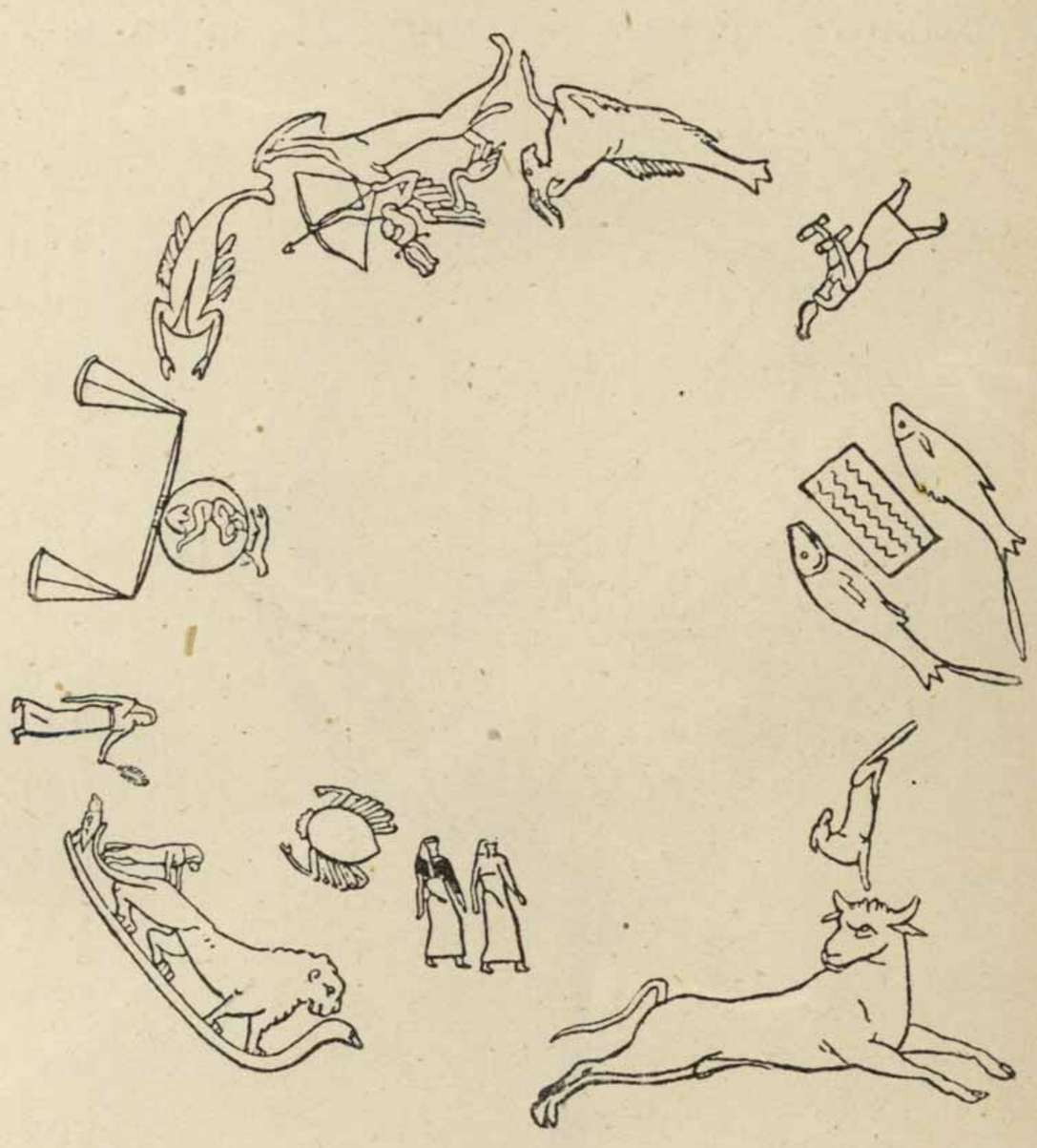
рическое происхожденіе. Изображеніе зодіака, найденное въ Дендера, въ Египтѣ (рис. 4), которое сначала относили къ эпохѣ за 12000—16000 лѣтъ тому назадъ, принадлежитъ, вѣроятно, времени Нерона. Созвѣздіе Вѣсовъ, кажется, было прибавлено Греками послѣднимъ. Съ нимъ число зодіакальныхъ созвѣздій дошло до 12, такъ что солнце въ каждомъ изъ нихъ остается приблизительно впродолженіе мѣсяца. Символы (знаки) этихъ созвѣздій можно найти иногда въ календаряхъ. Ихъ порядокъ нетрудно запомнить при помощи слѣдующихъ двухъ стиховъ:

Sunt Aries, Taurus, Gemini, Cancer, Leo, Virgo
Libraque, Scorpius, Arcitenens, Caper, Amphora, Pisces.

Точка пересѣченія эклиптики съ экваторомъ, въ которой солнце находится во время весенняго равноденствія, носитъ названіе точки весенняго равноденствія или точки Овна.

6. Величина освѣщенной части луны, фаза, зависитъ, какъ легко убѣдиться при нѣкоторомъ вниманіи, не отъ положенія луны между звѣздами, а отъ ея положенія относительно солнца. Когда луна находится приблизительно въ томъ же мѣстѣ, гдѣ и солнце, она невидима и мы имѣемъ „новолуніе“. Когда затѣмъ луна черезъ нѣсколько дней перемѣстится къ востоку такъ, что станетъ заходить нѣсколько позднѣе солнца, то она имѣетъ форму серпа. Когда она отходитъ отъ солнца приблизительно на четверть круга, она представляетъ намъ „первую четверть“. Когда она заканчиваетъ половину оборота и находится на сторонѣ неба, противоположной солнцу, слѣдовательно, восходитъ въ то время, когда солнце заходитъ, то мы имѣемъ „полнолуніе“. Спустя еще одну четверть оборота, мы имѣемъ „послѣднюю четверть“. Наконецъ, она снова нагоняетъ солнце; но такъ какъ солнце само ушло уже на нѣкоторое разстояніе къ востоку, то ихъ соединеніе происходитъ не на томъ мѣстѣ между звѣздами, гдѣ было передъ этимъ, а нѣсколько дальше къ востоку; такимъ образомъ лунѣ послѣ того, какъ она сдѣлаетъ полный оборотъ между звѣздами, нужно еще около двухъ сутокъ, чтобы снова нагнать солнце. Поэтому мы различаемъ два періода обращенія луны: сидерическій, относительно звѣздъ, и синодическій, относительно солнца. Практическое значеніе имѣетъ только синодическій мѣсяцъ, такъ какъ имъ обусловлена смѣна лунныхъ фазъ. Время сидерическаго оборота луны составляетъ $27^{д}\ 7^{ч}\ 48^{м}\ 11{\cdot}3^{с}$, приблизительно $27^{1}/_{3}$ сутокъ, а синодическаго $29^{д}\ 12^{ч}\ 44^{м}\ 2{\cdot}9^{с}$, приблизительно $29^{1}/_{2}$ сутокъ.

Рис. 4.



Зодіакъ въ Дендера.

7. Путь луны не совпадаетъ съ эклиптикой совершенно точно, но все же онъ лежитъ настолько близко къ ней, что при многихъ разсужденіяхъ можно вовсе не

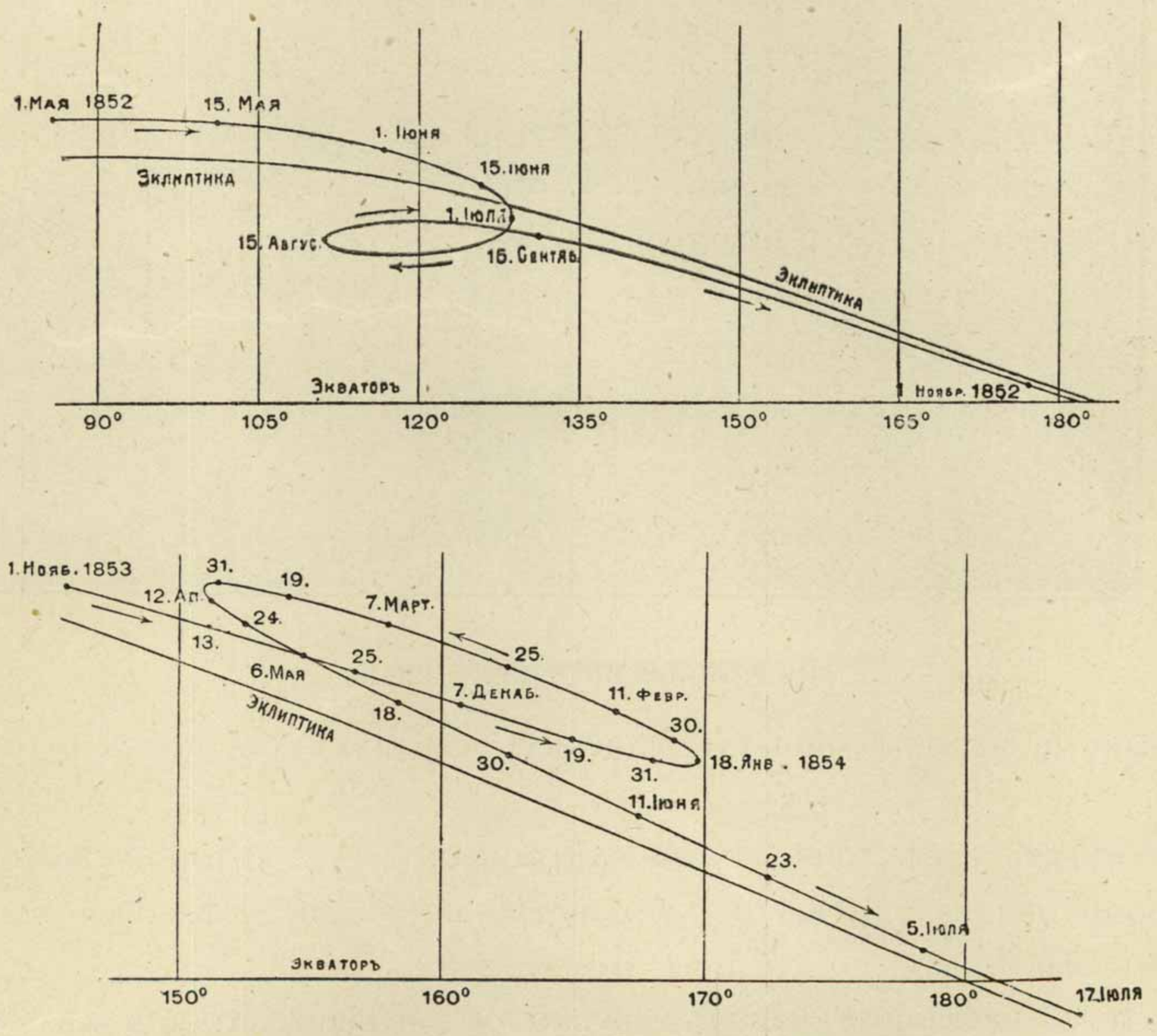
http://mathesis.ru

принимать въ разсчетъ этого отступленія. Во время лѣтняго солнцестоянія луна при полнолуніи должна находиться приблизительно тамъ, гдѣ солнце бываетъ во время зимняго солнцестоянія. Значитъ, она должна стоять на небѣ низко и должна имѣть малую дневную дугу. Во время весенняго равноденствія луна въ первой четверти должна находиться тамъ, куда солнце придетъ черезъ четверть года, слѣдовательно, она должна быть далеко къ сѣверу отъ экватора. Въ это время она стоитъ высоко на небѣ и имѣетъ болышую дневную дугу.

Примѣры для упражненія. Какъ высоко стоитъ луна въ первой и послѣдней четверти въ сентябрѣ мѣсяцѣ? Объясните, почему осенью луна во время полнолунія заходитъ лишь немного позднѣе, чѣмъ наканунѣ.

3. Древніе наблюдали на небѣ еще пять болѣе или менѣе яркихъ свѣтилъ, которыя также не остаются неподвижными относительно звѣздъ, а движутся по зодіаку,

Рис. 5



Части видимаго пути Венеры и Марса.

какъ солнце и луна. Но путь, который они описываютъ между неподвижными звѣздами, гораздо неправильнѣе. Иногда они движутся къ востоку, иногда къ западу и въ то же время поочередно то по одну (сѣверную), то по другую (южную) сторону эклиптики, такъ что иногда они описываютъ на небѣ настоящія петли (рис. 5). Вмѣстѣ съ греками мы называемъ ихъ планетами, блуждающими звѣздами. Наконецъ, иногда неожиданно появляются свѣтила съ длинными хвостами, извѣстныя подъ греческимъ названіемъ кометъ. И онѣ движутся между неподвижными звѣздами неправильно.

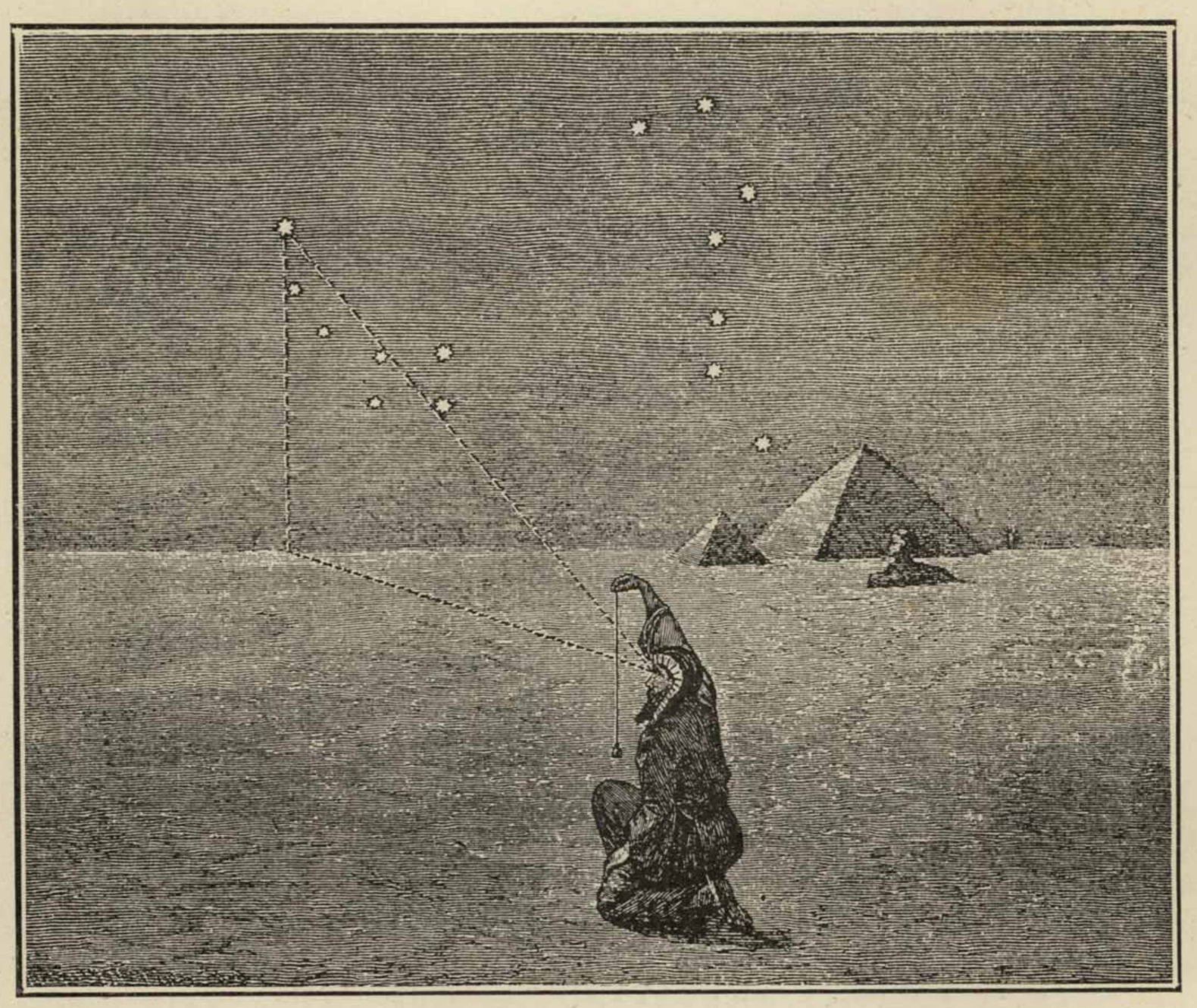
9. Какъ тщательно древніе наблюдали свѣтила, видно между прочимъ изъ той точности, съ которой направлены относительно странъ свѣта зданія египтянъ. При изслѣдованіи развалинъ этихъ зданій было найдено, что главныя линіи ихъ плана идутъ съ востока на западъ и съ сѣвера на югъ. Египетская надпись на стѣнѣ

http://mathesis.ru

развалинъ одного храма доказываетъ также, что египтяне считали точную разбивку плана храма[1]) чрезвычайно важнымъ дѣломъ.

Повидимому, въ древнѣйшія времена удовлетворялись, главнымъ образомъ, опредѣленіемъ визирныхъ точекъ на горизонтѣ; при этомъ имѣло большое значе-

Рис. 6



Проектированіе линіи сѣвера.

ніе, что названные народы жили въ плоскихъ странахъ съ довольно открытымъ горизонтомъ.

Если отмѣтить себѣ точно ту точку горизонта, въ которой звѣзда восходитъ, и ту, въ которой она заходитъ, то, какъ нетрудно видѣть, сѣверная точка горизонта будетъ лежать какъ разъ по срединѣ между этими двумя.

Кромѣ того, названные народы древности, имѣвшіе хорошихъ архитекторовъ, безъ сомнѣнія умѣли пользоваться отвѣсомъ для того, чтобы проектировать мѣсто звѣзды на горизонтъ. Если держать шнуръ отвѣса такъ, чтобы онъ закрывалъ для глаза какую-нибудь звѣзду, то нижній конецъ отвѣса укажетъ точку горизонта, которая лежитъ какъ разъ подъ звѣздой. Такое опредѣленіе сѣвера можно сдѣлать довольно точно при помощи Полярной звѣзды, такъ какъ она движется только по очень малому кругу. Если провести отвѣсныя линіи въ тѣ моменты, когда Полярная звѣзда наиболѣе удалена вправо и когда она наиболѣе удалена влѣво, или взять эти отвѣсныя линіи для любыхъ двухъ положеній Полярной съ промежуткомъ въ 12 ча-

---

[1]) Въ Халдеѣ зданія располагались скорѣе такъ, что по четыремъ странамъ свѣта направлялись ихъ углы. Эта оріентировка, однако, выполняется далеко не съ той точностью, съ какой выполнялась она у египтянъ; отсюда выводили заключеніе, что халдеи не умѣли наблюдать такъ точно, какъ египтяне. Однако, это заключеніе нельзя считать вѣрнымъ, такъ какъ неизвѣстно, придавали ли вообще халдеи большое значеніе точной оріентировкѣ.

http://mathesis.ru

совъ между ними, то точка сѣвера будетъ лежать какъ разъ по срединѣ между найденными такимъ образомъ точками горизонта.

10. Гораздо труднѣе для древнихъ была задача опредѣленія высоты звѣзды или солнца надъ горизонтомъ. Изъ свѣдѣній и рисунковъ, дошедшихъ до насъ, ясно, что всѣ названные народы древности дѣлали это посредствомъ отвѣсной палки, которою пользовались также греки, называвшіе ее гномономъ.

Одна китайская лѣтопись Чеу-Пей, относящаяся, повидимому, къ одиннадцатому вѣку до Р. Х., содержитъ очень интересное наблюденіе, сдѣланное при помощи этого простого прибора. Авторъ этого сочиненія наблюдалъ возлѣ Лоянга длину тѣни, которую отбрасывалъ въ полдень отвѣсный шестъ въ 8 футовъ длиной, и при томъ одинъ разъ, когда солнце было въ лѣтнемъ солнцестояніи, а другой разъ при зимнемъ солнцестояніи, т. е. при наибольшей и наименьшей полуденной высотѣ солнца. Въ первомъ случаѣ длина тѣни была $1^{13}/_{21}$ фута, во второмъ $13^1/_8$ фута. Какъ мы увидимъ ниже, съ теченіемъ тысячелѣтій высота, которой солнце достигаетъ лѣтомъ и зимой, нѣсколько измѣняется. И если сдѣлать разсчетъ, исходя изъ нашего времени, то, какъ оказывается, за 1100 лѣтъ до Р. Х. солнце въ Лоянгѣ должно было стоять какъ разъ на такой высотѣ, что тѣни имѣли указанныя въ этомъ сочиненіи длины. Это указываетъ на то, что данное сочиненіе не поддѣлка, что̀ при китайскихъ датахъ иногда требуетъ подтвержденія.

11. Длину тѣни палки можно, конечно, употребить для опредѣленія положенія солнца, но длину тѣни нельзя собственно назвать мѣрой высоты солнца. Короткая тѣнь указываетъ, конечно, что высота солнца велика, а длинная тѣнь, что эта высота мала. Но длиною тѣни можно было бы пользоваться, какъ мѣрою, если бы двойной длинѣ тѣни отвѣчала вдвое меньшая высота солнца. Однако на самомъ дѣлѣ это не такъ.

Только халдеи создали дѣйствительно удовлетворительную мѣру для такого рода вещей. Имѣя въ виду, что солнце въ теченіе года совершаетъ полный оборотъ между звѣздами, халдеи нашли цѣлесообразнымъ принять за единицу мѣры дугу, которую солнце проходитъ въ сутки. Эта дуга составляетъ $1 : 365^1/_4$ полнаго круга, такъ какъ годъ имѣетъ $365^1/_4$ сутокъ. Но они округлили эту дробь въ $^1/_{360}$, что отличается отъ истинной величины ~~не болѣе~~ менее, чѣмъ на $^1/_{20\,000}$. Такъ какъ они дѣлили кругъ, по которому движется солнце, на 360 частей, то и всѣ другіе круги они дѣлили такимъ же образомъ[1]).

Этотъ способъ дѣленія позднѣе былъ принятъ александрійскими греками и находится въ употребленіи и по нынѣшній день. Мы называемъ эти части градусами и обозначаемъ, напримѣръ, дугу, равную тринадцати трехсотшестидесятымъ круга посредствомъ 13^0.

Линію, которою описанъ кругъ, или радіусъ, можно отложить по кругу въ видѣ хорды, какъ разъ шесть разъ одинъ за другимъ. Это побудило халдеевъ дѣлить каждый градусъ на 60 минутъ и каждую минуту на 60 секундъ; мы пишемъ теперь, напримѣръ, $13^0\,47'\,19''$ вмѣсто $\dfrac{13 + {}^{47}/_{60} + {}^{19}/_{3600}}{360}$.

---

[1]) Китайцы, повидимому, раздѣляли круги, тоже соотвѣтственно суточному движенію солнца, на $365^1/_4$ частей, что представляло очень неудобное дѣленіе для всѣхъ круговъ кромѣ эклиптики.

http://mathesis.ru

Какъ сложна была задача, рѣшенная такимъ образомъ, можно понять лучше всего, если подумать, какъ трудно сговориться съ кѣмъ-нибудь относительно видимаго разстоянія двухъ звѣздъ другъ отъ друга, если пытаться выразить его въ мѣрахъ длины. Если одинъ оцѣниваетъ это разстояніе въ метръ, а другой въ половину метра, то это доказываетъ только, что они представляютъ себѣ звѣзды на различномъ разстояніи. Напротивъ, халдеи создали такую мѣру для разстоянія двухъ звѣздъ, которая остается всегда одной и той же, независимо отъ того, на какомъ разстояніи воображать себѣ звѣзды. 13^0 или $^{13}/_{360}$ окружности круга есть, напримѣръ, нѣчто такое, что можно представить себѣ на всякомъ мѣстѣ неба. Сравнительно нетрудно выбрать мѣру для болѣе осязаемыхъ предметовъ, метръ, фунтъ и т. п., но изобрѣтеніе мѣры для несуществующихъ, а только воображаемыхъ дугъ на небѣ знаменуетъ огромный шагъ впередъ въ культурѣ человѣчества.

Преимущество этой вновь введенной мѣры лежитъ, слѣдовательно, не въ дѣленіи на 360 и 60 частей и затѣмъ еще на 60 частей. Такое дѣленіе скорѣе можно назвать неудобнымъ, если мы вообще ведемъ счетъ по десятичной системѣ. Но если даже французская революція не могла раздѣлаться съ этимъ числомъ и если мы всякій разъ, когда смотримъ на часы, приспособляемъ наше представленіе, пріученное къ десятичной системѣ, къ шестеричной системѣ халдеевъ, то это есть дань, которую мы въ нашъ вѣкъ желѣзныхъ дорогъ приносимъ древнему народу, разрѣшившему трудную задачу: найти мѣру для столь мало осязательной вещи, какъ угловыя разстоянія звѣздъ.

Примѣръ 1. Если звѣзда заходитъ на разстояніи $32^0\ 15'$ отъ сѣверной точки горизонта, то на какомъ разстояніи она находится отъ западной, южной и восточной точекъ горизонта?

2. Если солнце находится на высотѣ 66^0 надъ горизонтомъ, какъ велико его разстояніе отъ зенита и отъ надира, т. е. отъ тѣхъ точекъ, въ которыхъ отвѣсная линія пересѣкаетъ небесную сферу вверху и внизу?

12. Послѣ того какъ была найдена мѣра, устройство приспособленій, при помощи которыхъ можно было бы производить эти измѣренія, не представляло особенныхъ трудностей.

Греки упоминаютъ о такомъ приспособленіи, которое изобрѣлъ архитекторъ Ѳеодоръ изъ Самоса. Это доказываетъ во всякомъ случаѣ, что подобныя приспособленія были уже извѣстны въ VII вѣкѣ до Р. Х.; можетъ быть, это указываетъ и на то, что они пришли съ востока. Въ самомъ дѣлѣ легко допустить, что халдеи дали и практическое примѣненіе своего изобрѣтенія.

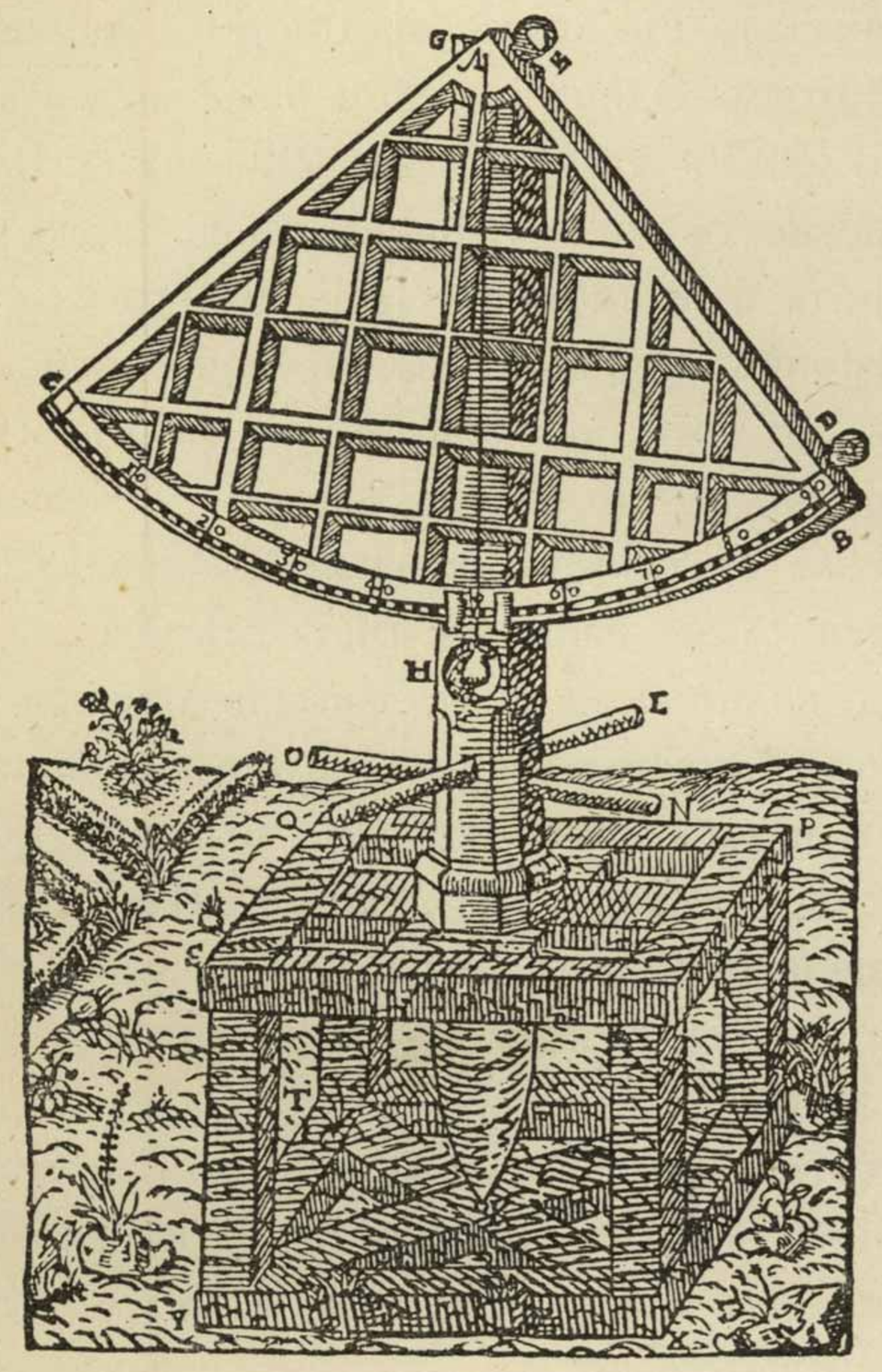
За недостаткомъ достовѣрныхъ рисунковъ такихъ инструментовъ изъ древности на рис. 7 изображенъ квадрантъ (четверть круга), который построилъ и употреблялъ Тихо Браге. Онъ виситъ на вертикальномъ столбѣ; при помощи рукоятокъ ON и QL этотъ столбъ можно поворачивать такимъ образомъ, чтобы плоскость квадранта проходила черезъ звѣзду, высота которой измѣряется. Самый квадрантъ можетъ вращаться въ своемъ центрѣ A на горизонтальномъ шипѣ, укрѣпленномъ въ столбѣ, изъ его центра свѣшивается на шнуркѣ отвѣсъ $H.D$ и E суть визиры, которые направляются на звѣзду. Ихъ направленіе параллельно той линіи, которая соединяетъ центръ квадранта съ штрихомъ 90^0. Такимъ образомъ зенитное разстояніе звѣзды

http://mathesis.ru

равно числу градусовъ отъ 90 до отвѣса и, значитъ, высота звѣзды (дополнительный уголъ зенитнаго разстоянія до 90^0) равна числу градусовъ отъ 0^0 до отвѣса.

13. Однимъ изъ самыхъ важныхъ опредѣленій высотъ, какія только сдѣлали древніе,—гномономъ или раздѣленнымъ кругомъ—было измѣреніе высоты солнца въ эпохи лѣтняго и зимняго солнцестояній (ср. § 10). Если мы въ какомъ-нибудь мѣстѣ, лежащемъ, напримѣръ, подъ 50^0 широты, найдемъ полуденную высоту солнца во время лѣтняго солнцестоянія равной $63^0\ 27'$, а во время зимняго солнцестоянiи равной $16^0\ 33'$, то очевидно въ первомъ случаѣ солнце было ближе къ сѣверному полюсу на $46^0\ 54'$. Слѣдовательно, оно удаляется отъ экватора въ обѣ стороны на $23^0\ 27'$. Это и есть такъ называемый наклонъ эклиптики къ экватору.

Рис. 7



Квадрантъ Тихо Браге.

14. Движенія солнца, луны и звѣздъ даютъ естественныя опорныя точки для счета времени. Небесныя наблюденія древнихъ народовъ имѣли поэтому особенное значеніе для подраздѣленія и счисленія времени.

Для обитателей болѣе сѣверныхъ странъ можетъ казаться нѣсколько удивительнымъ, что древніе народы при своемъ подраздѣленіи времени могли иногда отдавать предпочтеніе лунѣ передъ солнцемъ. Смѣна дня и ночи есть такое явленіе, которое волей или неволей заставляетъ человѣка сообразоваться съ нимъ; съ другой стороны, различіе между лѣтомъ и зимой настолько глубоко, что счисленіе по солнечнымъ годамъ является почти неизбѣжнымъ. Нужно однако помнить, что указанные народы жили въ такомъ климатѣ, гдѣ разница между лѣтомъ и зимой не очень велика, тогда какъ при тѣхъ мягкихъ ночахъ, продолжительность которыхъ въ теченіе круглаго года близка къ 12 часамъ, свѣтъ луны играетъ важную роль въ жизни человѣка.

Но время, въ теченіе котораго происходитъ полная смѣна фазъ луны, какъ и солнечный годъ, не составляетъ цѣлаго числа сутокъ; вслѣдствіе этого оказывается затруднительнымъ опредѣлить разъ навсегда число сутокъ въ мѣсяцѣ и въ году. Кромѣ того, времена обращенія луны и солнца не находятся въ простомъ соотношеніи другъ съ другомъ и потому еще труднѣе правильно согласовать между собою мѣсяцъ и годъ. Здѣсь мы приведемъ нѣсколько отдѣльныхъ примѣровъ счисленія времени у древнихъ.

15. Египтяне считали свой годъ въ 365 сутокъ, тогда какъ въ дѣйствительности онъ длиннѣе этого приблизительно на четверть сутокъ. Вслѣдствіе этого къ концу перваго года у нихъ не хватало немного до полнаго оборота, къ концу второго года

http://mathesis.ru

не хватало вдвое больше и т. д. Солнце занимало опредѣленное положеніе на небѣ, а значитъ, и времена года наступали постепенно позднѣе и позднѣе относительно чиселъ мѣсяца, и по истеченіи нѣсколькихъ столѣтій лѣто приходилось на тѣ мѣсяцы, которые въ началѣ счета были зимними. Первоначальный порядокъ долженъ былъ снова возвращаться по истеченіи 1460 лѣтъ, такъ какъ за этотъ промежутокъ времени ежегодныя запаздыванія солнца давали уже цѣлый его оборотъ.

Это было извѣстно египтянамъ, и такъ какъ первый годъ этого длиннаго періода совпадалъ съ геліакическимъ восходомъ звѣзды Пса (ср. § 4) и затѣмъ проходило 1460 лѣтъ, пока начало года снова совпадало съ этимъ восходомъ, то этотъ періодъ назвали періодомъ звѣзды Пса или Сотисъ. Одинъ такой періодъ начался въ 2782 году до Р. Х., слѣдующій въ 1322 году до Р. Х., третій въ 139 году по Р. Х.

16. У египтянъ и другихъ народовъ древности точныя опредѣленія этого рода составляли обязанность государства и религіи и выполнялись жрецами, тогда какъ простой народъ придерживался другихъ способовъ подраздѣленія времени, основанныхъ на болѣе замѣтныхъ явленіяхъ. Такъ въ Египтѣ пользовались луннымъ мѣсяцемъ, начало котораго считалось съ того дня, въ который луна впервые появлялась послѣ новолунія. Евреи въ древнее время также считали по луннымъ мѣсяцамъ, но ихъ годъ не всегда имѣлъ 12 мѣсяцевъ. Евреи также начинали счетъ мѣсяца съ того дня, въ который луна становилась вновь видимой, а годъ считали, смотря по обстоятельствамъ, въ 12 или въ 13 мѣсяцевъ. Обстоятельствами, которыя принимались здѣсь въ разсчетъ, являлись жатвы, такъ какъ первый колосъ долженъ былъ приноситься въ жертву Іеговѣ во время Пасхи, падавшей на первый мѣсяцъ года (Нисанъ). Такимъ образомъ выходило, что времена года никогда не смѣщались значительно относительно мѣсяцевъ. Въ связи съ этимъ стоитъ также и то, что христіанская Пасха не всегда падаетъ на одинъ и тотъ же день.

Напротивъ того, у арабовъ и у многихъ магометанскихъ народовъ имѣло мѣсто постоянное перемѣщеніе начала года. У нихъ мѣсяцъ имѣлъ поочередно 29 и 30 дней, а годъ состоялъ всегда изъ 12 такихъ мѣсяцевъ, изъ шести мѣсяцевъ по 30 и шести по 29 сутокъ. Такимъ образомъ ихъ годъ сравнительно съ дѣйствительнымъ былъ слишкомъ коротокъ приблизительно на 11 сутокъ. Вслѣдствіе этого времена года смѣщались относительно мѣсяцевъ и притомъ очень быстро, такъ что по истеченіи 33 арабскихъ или 32 дѣйствительныхъ лѣтъ они снова приходились на надлежащіе мѣсяцы. Но лунный мѣсяцъ на $44^m\ 3^c$ длиннѣе $29^1/_2$ сутокъ (§ 6). Слѣдовательно, по истеченіи нѣсколькихъ лѣтъ движеніе луны уже не соотвѣтствовало мѣсяцу и для полученія согласія приходилось вставлять, приблизительно каждый третій годъ, однѣ сутки на исправленіе запозданія. Послѣдній мѣсяцъ года, который долженъ былъ бы имѣть 29 сутокъ, получалъ ради этого исправленія 30 сутокъ. Такимъ образомъ въ извѣстной степени достигалось согласованіе мѣсяца съ движеніемъ луны, но этотъ годъ совершенно не соотвѣтствовалъ движенію солнца.

17. Легко понять, какъ трудно было найти счисленіе времени, которое соотвѣтствовало бы движенію и солнца и луны. Народъ, который не боялся умозрительныхъ задачъ, а именно греки, получилъ отъ оракула отвѣтъ, что годъ долженъ согласоваться съ движеніемъ солнца, а мѣсяцы и дни съ движеніемъ луны. Они старались упорядочить счисленіе времени различными способами, но удовлетворительное рѣшеніе этого вопроса предложилъ только Метонъ на Олимпійскихъ играхъ въ 432

http://mathesis.ru

году до Р. Х. Метонъ разсчиталъ, что въ теченіе 6940 сутокъ солнце дѣлаетъ 19 оборотовъ, а луна 235. Поэтому онъ предложилъ вести счетъ такимъ образомъ, чтобы 19 лѣтъ содержали 235 мѣсяцевъ и 6940 сутокъ. Мѣсяцы должны были имѣть иногда 29, иногда 30 сутокъ, благодаря чему начало мѣсяца никогда не могло смѣщаться относительно фазъ луны больше, чѣмъ на полусутки. Далѣе годы по счисленію Метона должны были имѣть иногда 12, иногда 13 мѣсяцевъ, такъ что начало года не могло смѣщаться относительно временъ года больше, чѣмъ на полмѣсяца. Это предложеніе было единогласно принято и было введено не только въ Греціи, но одновременно и во всѣхъ ея колоніяхъ. Это исчисленіе было начертано золотыми буквами въ общественныхъ мѣстахъ, откуда и получилось названіе „золотое число“, перешедшее и въ календари новаго времени.

Метоновъ циклъ оказался однако не вполнѣ правильнымъ. Періодъ въ 6940 сутокъ превышаетъ 19 лѣтъ на $9^1/_2$ часовъ и 235 лунныхъ мѣсяцевъ на $7^1/_2$ часовъ. Эта погрѣшность была исправлена Калиппомъ, предложившимъ соединять четыре Метоновыхъ періода въ одинъ большій періодъ въ 76 лѣтъ, первый мѣсяцъ котораго долженъ былъ терять однѣ изъ своихъ тридцати сутокъ.

Трудная задача согласовать при единообразномъ исчисленіи времени движенія солнца и луны была, такимъ образомъ, рѣшена очень точно и фазы луны согласовались съ календарными мѣсяцами; однако то обстоятельство, что годы въ этомъ счисленіи не равны, а имѣютъ то 354, то 384 сутокъ, было бы для нашей гражданской жизни во всякомъ случаѣ довольно неудобно.

18. Наше нынѣшнее счисленіе времени перешло къ намъ изъ Рима и основано только на движеніи солнца. До Юлія Цезаря въ Римѣ былъ въ употребленіи календарь съ 12 мѣсяцами. Названія мѣсяцевъ были тѣ же, что и теперь, за исключеніемъ іюля и августа, которые были введены только позднѣе (вмѣсто Quintilis и Sextilis) въ честь Цезаря и Августа. Число дней въ мѣсяцѣ было отъ 28 до 31, но въ общемъ оно было слишкомъ мало, такъ что каждый второй годъ нужно было вставлять одинъ мѣсяцъ (Mercedonius) въ 22 или 23 дня. Этотъ календарь не согласовался ни съ солнечнымъ, ни съ луннымъ движеніемъ. Юлій Цезарь, при содѣйствіи александрійскаго астронома Созигена, рѣшилъ его улучшить. Послѣ года въ 445 сутокъ, „года путаницы“, въ 46 году до Р. Х. былъ введенъ въ употребленіе Юліанскій календарь, въ которомъ на каждые три года по 365 сутокъ приходился одинъ високосный годъ въ 366 сутокъ. Этотъ календарь позднѣе былъ принятъ христіанской церковью и високосными годами считаются тѣ, число которыхъ дѣлится на четыре, напримѣръ, 1896.

Такъ какъ мѣсяцы этого календаря не согласуются уже съ движеніемъ луны, то каждый мѣсяцъ сохранилъ то число сутокъ, которое ему произвольно дали римляне. Всѣмъ извѣстно, какъ можно по косточкамъ руки разсчитать, какіе мѣсяцы имѣютъ 30 и какіе 31 день. Февраль имѣетъ 28, а въ високосные годы 29 дней. У римлянъ вставнымъ днемъ было 24-ое число, которое повторялось дважды. Поэтому иногда еще и теперь можно найти въ календарѣ обозначеннымъ, какъ вставной день, 24 число (вмѣсто 29).

19. Въ Юліанскомъ календарѣ годъ принимается въ среднемъ въ $365^1/_4$ сутокъ, т. е. больше истиннаго на $11^м\ 12^с$. Эта ошибка въ 129 лѣтъ составляетъ цѣлыя сутки.

http://mathesis.ru

На эту ошибку указалъ въ XIII вѣкѣ Роджеръ Бэконъ, тщетно рекомендовавшій папѣ ея исправленіе. Но лишь спустя три столѣтія, когда въ этомъ же смыслѣ высказалось много голосовъ, папа Григорій XIII назначилъ ученую коммиссію, согласно предложенію которой въ 1583 году папской буллой былъ введенъ Григоріанскій календарь.

Чтобы связать этотъ календарь съ Никейскимъ соборомъ (325 г. по Р. Х.), на которомъ было постановлено, что Пасха должно падать на воскресеніе за первымъ полнолуніемъ послѣ весенняго равноденствія (ср. § 16), было повелѣно выпустить десять лишнихъ дней, набѣжавшихъ за истекшія со времени собора 1257 лѣтъ. Соотвѣтственно этому день, слѣдовавшій за 4 октября 1582 года, былъ принятъ за 15 октября.

А для того, чтобы въ будущемъ не могла вкрасться подобная ошибка, было постановлено:

Годъ долженъ имѣть 365 сутокъ.

Исключеніе. Если число года дѣлится на четыре, то годъ долженъ имѣть 366 сутокъ.

Исключеніе изъ исключенія. Такъ называемые вѣковые годы, напримѣръ, 1800, 1900 и т. п. должны имѣть только 365 сутокъ, хотя ихъ число дѣлится на четыре.

Исключеніе изъ исключенія исключенія. Тѣ вѣковые годы, число которыхъ дѣлится на 400, напримѣръ, 1600, 2000, должны имѣть 366 сутокъ.

Календарь оставался бы при этомъ улучшеніи правильнымъ, еслибы Юліанскій календарь давалъ ошибку какъ разъ на трое сутокъ въ четыреста лѣтъ или на однѣ сутки въ $133^1/_3$ года. Но ошибка этого календаря составляетъ однѣ сутки въ 129 лѣтъ. Такимъ образомъ съ теченіемъ времени ошибка снова накопится и потому Григоріанскій календарь опредѣляетъ заранѣе, что годъ 4840 по Р. Х. не долженъ быть високоснымъ, какъ это выходитъ по обычному правилу. Еще черезъ 3600 лѣтъ придется снова подумать объ исправленіи и снова выпускать одинъ високосный день и т. д.

Протестантскія страны сдержанно относились ко всему, что шло со стороны папъ, и потому тамъ медлили съ введеніемъ этого „новаго стиля“. Болѣе ста лѣтъ здѣсь оставались позади папистовъ на 10 сутокъ. 1600 годъ не увеличилъ разницы, такъ какъ онъ былъ високоснымъ годомъ и по Юліанскому и по Григоріанскому календарю. 1700 годъ напротивъ повысилъ бы разницу до 11 сутокъ. Но въ этомъ году въ протестантской Германіи, въ Даніи и другихъ странахъ также перешли къ новому календарю и за 18 февраля наступило непосредственно 1 марта.

Съ другой стороны Россія въ 1700 и 1800 годахъ теряла по одному дню и такъ какъ и въ 1900 году она не перешла къ Григоріанскому календарю, то теперь она отстаетъ отъ него на 13 сутокъ.

При такой трудности согласовать календарь съ солнцемъ по необходимости пришлось совершенно не считаться съ движеніемъ луны; теперь довольствуются тѣмъ, что даютъ въ календаряхъ положеніе луны на каждый день. Такимъ образомъ наше дѣленіе на мѣсяцы есть пережитокъ болѣе древнихъ культуръ и не сохранило почти никакой связи съ фазами луны.

20. Что касается дѣленія времени на недѣли, то особенно замѣчательно число дней въ недѣлѣ, такъ какъ число семь не стоитъ въ связи ни съ системами счи-

http://mathesis.ru

сленія какихъ-либо народовъ, ни съ движеніемъ луны. Еслибы мѣсяцъ имѣлъ 28 сутокъ, то дѣленіе его на четыре части было бы понятно. Но такъ какъ мѣсяцъ содержитъ скорѣе 30 сутокъ, то легче было бы понять дѣленіе на 2, 3, 5, 6 или 10 частей.

Греческій писатель II столѣтія по Р. Х. Діонъ Кассій связываетъ дѣленіе на недѣли и названія дней недѣли съ извѣстными тогда семью подвижными свѣтилами: солнцемъ, луною и пятью планетами. Это объясненіе представляется однако нѣсколько искусственнымъ[1]).

Дни недѣли уже у египтянъ носили имена въ соотвѣтствіи съ небесными тѣлами. Напротивъ того, у евреевъ не было особыхъ именъ для дней недѣли за исключеніемъ „субботы“. Остальные дни обозначались первыми буквами алфавита. Естественной связи между планетами и днями недѣли указать, однако, нельзя. Здѣсь можетъ идти рѣчь только о религіозныхъ объясненіяхъ, какъ въ Библіи (1. Быт. 1, 2).

21. Какъ извѣстно, отъ времени до времени происходятъ затменія большей или меньшей части луннаго диска. Всѣ образованные народы древности умѣли, повидимому, предсказывать эти затменія, а въ Китаѣ, какъ мы знаемъ, это принадлежало къ важнѣйшимъ обязанностямъ астрономовъ. Небрежность въ исполненіи этихъ обязанностей иногда наказывалась даже смертью. Даже въ историческія времена мы находимъ еще примѣры такихъ казней, равно какъ и примѣры приглашенія индусскихъ или европейскихъ астрономовъ, такъ какъ празднества, которыя справлялись при этихъ затменіяхъ, считались настолько важными, что пренебрегать ими нельзя было ни въ какомъ случаѣ.

Такъ, древніе документы сообщаютъ о казни астрономовъ Хи и Хо, не предсказавшихъ своевременно солнечнаго затменія 13 октября 2128 г. до Р. Х.

Возможность предсказанія затменій основывалась на томъ открытіи, что въ періодъ 18 лѣтъ и 11 дней (точнѣе 6585·32 сутокъ), т. е. по истеченіи 222 синодическихъ мѣсяцевъ затменія повторяются въ томъ же порядкѣ и имѣютъ приблизительно ту же величину. Эта періодичность, однако, не вполнѣ точна; иныя затменія выходятъ, напримѣръ, нѣсколько полнѣе, другія нѣсколько меньше, чѣмъ въ предшествующемъ періодѣ. Равнымъ образомъ иногда происходитъ новое слабое затменіе, которое въ послѣдующіе періоды становится больше, тогда какъ одно изъ старыхъ затменій можетъ постепенно исчезнуть. Хотя упомянутые выше китайскіе астрономы и имѣли въ своемъ распоряженіи длинные ряды наблюденій, все же нетрудно понять, какъ можно было проглядѣть появленіе новаго затменія.—Грекъ Ѳалесъ (§ 23), должно быть, обучался этому искусству у египтянъ, но позднѣе греки, повидимому,

---

[1]) Кассій приводитъ эти семь небесныхъ тѣлъ соотвѣтственно скорости ихъ движенія по небу въ слѣдующемъ порядкѣ: Сатурнъ (самый медленный), Юпитеръ, Марсъ, Солнце, Венера, Меркурій и Луна. Каждому изъ нихъ посвящается часъ, и притомъ первый часъ послѣ 12 въ ночь на субботу посвященъ Сатурну, затѣмъ каждый слѣдующій часъ слѣдующей планетѣ, слѣдовательно седьмой часъ лунѣ, а восьмой снова Сатурну и т. д. При такомъ порядкѣ солнце получаетъ часъ отъ 12 до 1 въ ночь на воскресенье. Поэтому суббота получила имя отъ Сатурна, воскресенье отъ солнца и т. д. Въ соотвѣтственные часы понедѣльника, вторника, среды, четверга и пятницы приходятся по порядку Марсъ, Меркурій Юпитеръ и Венера. Названія дней недѣли на различныхъ европейскихъ языкахъ дѣйствительно согласуются съэтимъ объясненіемъ. Но конечно съ такимъ же основаніемъ можно принимать, что названія планетъ были даны днямъ недѣли только потому, что число тѣхъ и другихъ было одинаково.

http://mathesis.ru

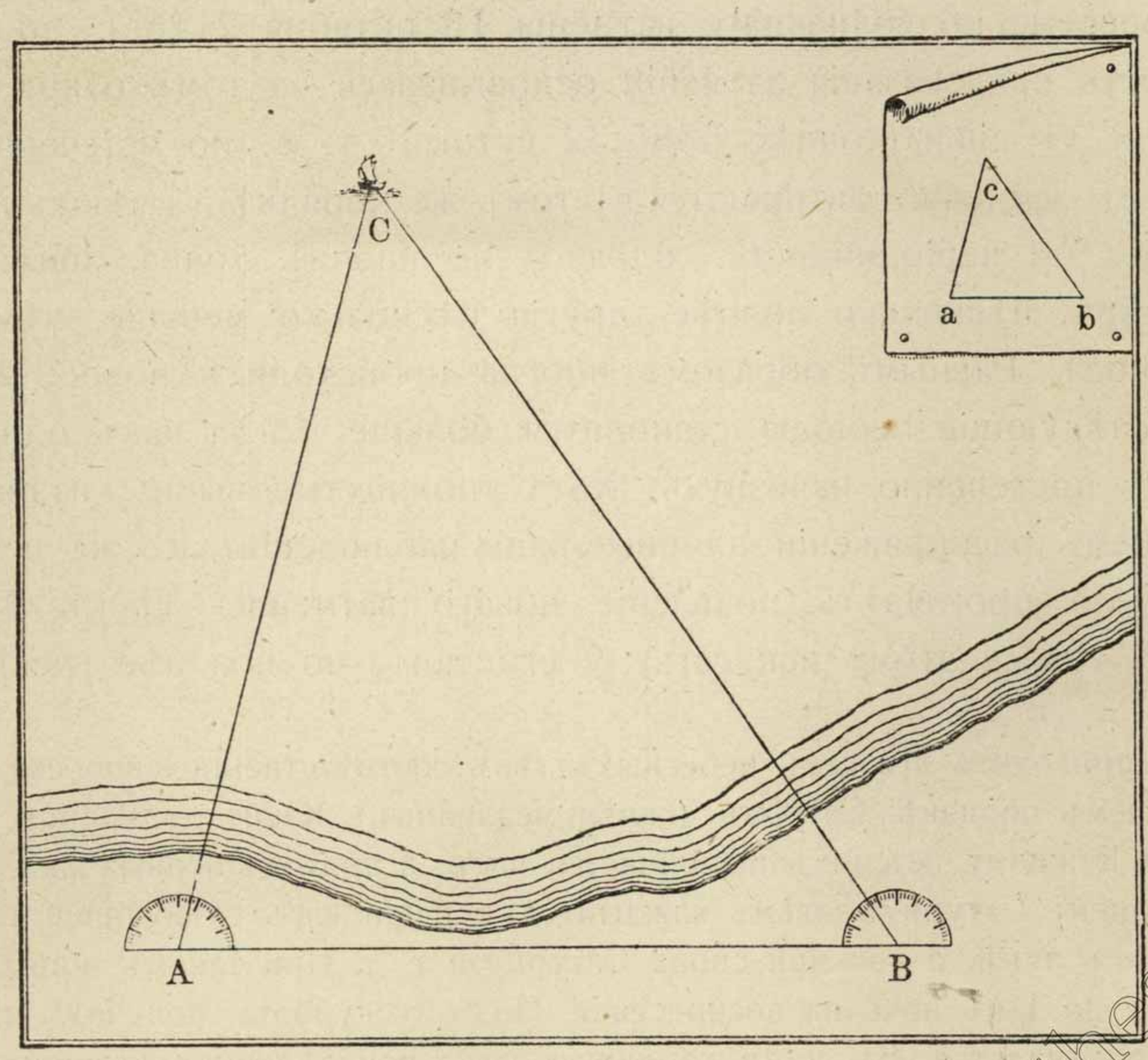
отдали предпочтеніе халдеямъ; сколько можно судить, это объяснялось тѣмъ, что у халдеевъ были многолѣтнія тщательныя наблюденія, въ которыхъ нуждались греки. Халдеи сообщали Александру Великому, что у нихъ имѣются наблюденія за 1903 года, и за это время имѣли мѣсто 832 лунныхъ затменія и 373 солнечныхъ. Это очень хорошо согласуется съ тѣмъ, что могло быть на самомъ дѣлѣ; при этомъ нужно имѣть въ виду, что въ Вавилоніи при всегда почти безоблачномъ небѣ пройти незамѣченными могли только немногія затменія.

Греки

22. Въ то время, какъ у китайцевъ, индусовъ, халдеевъ и египтянъ исторія изученія природы не была еще связана съ опредѣленными личностями—развѣ только съ тѣмъ или другимъ миѳическимъ царемъ—, у грековъ исторія естествознанія сплетается уже съ именами его творцовъ, но свѣдѣнія эти вначалѣ не отличаются достовѣрностью. Въ разсказахъ о древнѣйшихъ греческихъ мудрецахъ обыкновенно отмѣчается, что они болѣе или менѣе долгое время учились въ Египтѣ. Тѣ вопросы, которые не выяснялись непосредственно, греческіе „философы“ старались разрѣшить путемъ размышленія. Такимъ образомъ они создали тотъ мыслительный аппаратъ, который носитъ названіе математики и безъ котораго невозможно глубокое естествознаніе. Греки имѣли также представленіе о многихъ соотношеніяхъ между явленіями природы, о которыхъ болѣе древніе народы, повидимому, не знали ничего.

23. Ѳалесъ Милетскій (около 640—548 г. до Р. Х.), первый изъ „семи мудрецовъ Греціи“, признается основателемъ математики. Хотя мы здѣсь не можемъ

Рис. 8



Измѣреніе разстоянія корабля.

глубже вдаваться въ этотъ предметъ, но нельзя не привести рѣшенія одной задачи, при помощи котораго Ѳалесъ опредѣлялъ разстояніе корабля на морѣ. Эта

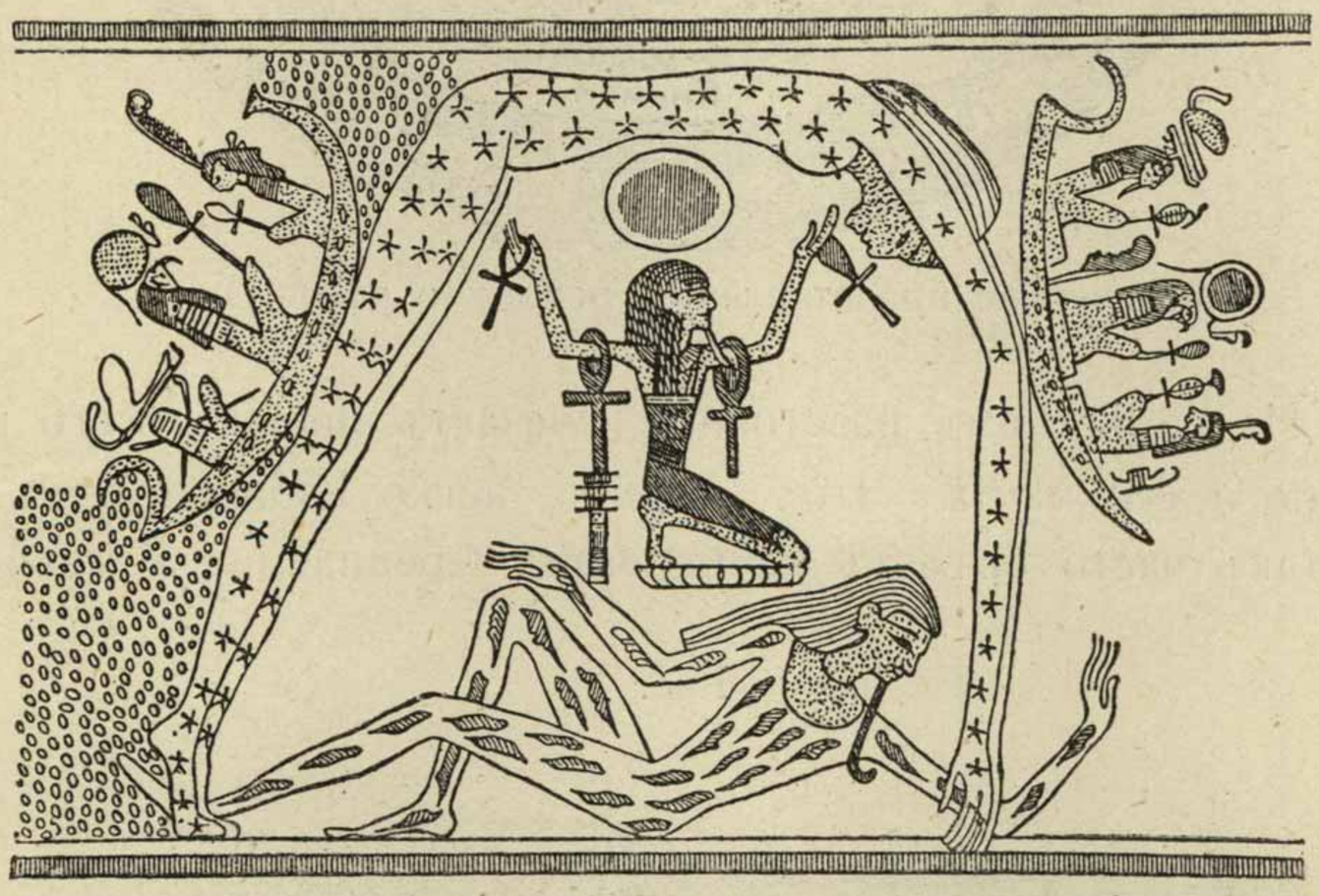
http://mathesis.ru

самая задача опредѣленія разстоянія недоступнаго предмета встрѣчается также при измѣреніи разстояній небесныхъ тѣлъ. Два наблюдателя A и B (рис. 8) становятся на берегу на извѣстномъ разстояніи другъ отъ друга, напримѣръ, въ 1000 *м.* Каждый изъ нихъ снабженъ раздѣленнымъ кругомъ и держитъ этотъ кругъ такъ, чтобы его нулевое дѣленіе было обращено къ другому наблюдателю. Затѣмъ оба они визируютъ черезъ центръ своего круга на корабль и замѣчаютъ, черезъ какой градусъ на кругѣ проходитъ эта линія зрѣнія. Теперь, если угодно, можно все это нарисовать въ уменьшенномъ видѣ, приложивъ къ какой-нибудь линіи $a\,b$ раздѣленные круги въ точкахъ a и b и проведя двѣ линіи черезъ соотвѣтственныя точки дѣленій круга. Эти двѣ линіи пересѣкаются въ точкѣ c и такимъ образомъ получается уменьшенное изображеніе большого треугольника $A\,B\,C$. А такъ какъ $a\,b$ представляетъ линію $A\,B$, длиною въ 1000 *м*, то ею можно измѣрить линію $a\,c$, которая представитъ разстояніе $A\,C$ корабля отъ точки A.

Возможность рѣшить подобную задачу несомнѣнно послужила для Ѳалеса и для грековъ вообще толчкомъ къ тому, чтобы идти по этому пути дальше, и въ теченіе слѣдующихъ столѣтій математика сдѣлала поразительные успѣхи. Несмотря на то громадное значеніе, которое математика имѣетъ для естествознанія, мы не можемъ здѣсь входить болѣе подробно въ исторію развитія этой науки.

24. Былъ еще другой вопросъ, который греки, въ противоположность древнимъ, старались тщательно себѣ выяснить, именно вопросъ о строеніи вселенной. Египтяне представляли себѣ строеніе вселенной только символически (рис. 9); въ болѣе древнее время греки также создавали подобныя мистическія представленія, напримѣръ, что земля имѣетъ видъ плоскости и что ее обтекаетъ могучая рѣка Океанъ (рис. 10), а послѣдній ограниченъ великой чашей неба, къ которой прикрѣплены звѣзды; солнце было отверстіемъ въ этой чашѣ, сквозь которое виденъ огонь, находящійся снаружи чаши. Когда это отверстіе закрывалось, наступало солнечное затменіе.

Рис. 9



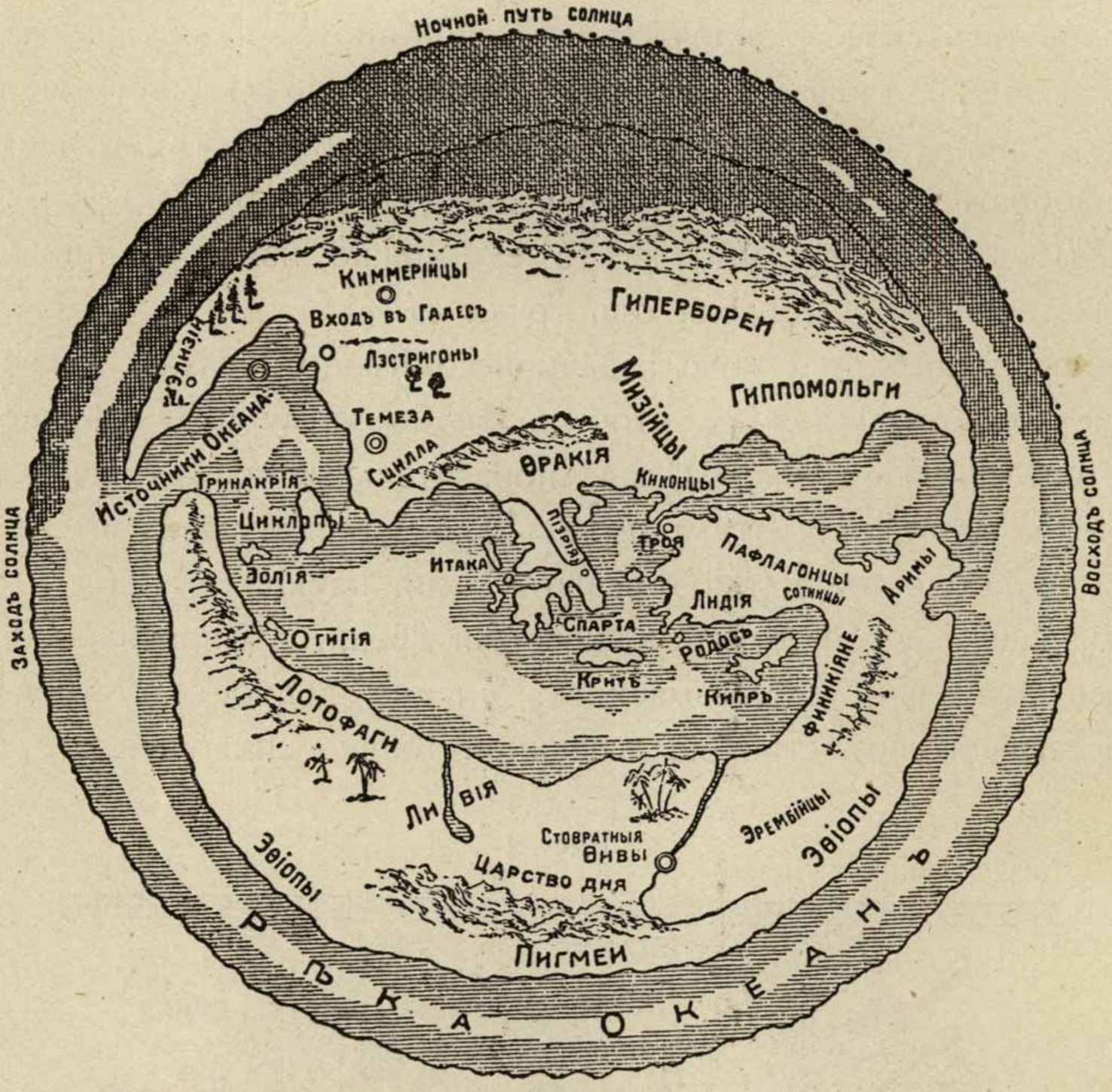
Египетскій символъ вселенной.

Но уже Пиѳагоръ (род. около 580 г. до Р. Х.) или во всякомъ случаѣ его школа еще въ V вѣкѣ до Р. Х. придерживались воззрѣнія, что небесныя тѣла прикрѣп-

http://mathesis.ru

лены къ огромной хрустальной шарообразной чашѣ, движущейся подъ звуки неслышной намъ небесной музыки; кромѣ того, они опредѣленно высказывались, что не только солнце и луна, но и земля есть шаръ. Они говорили даже объ антиподахъ, т. е. людяхъ на другой сторонѣ земли, обращенныхъ къ намъ ногами. Что само море должно имѣть кривизну, можно было легко видѣть, наблюдая удаляющееся

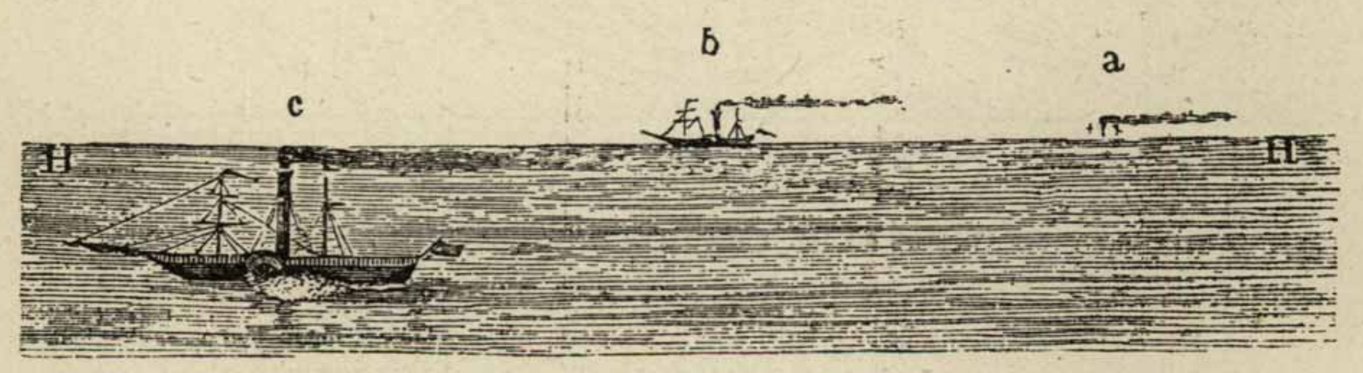
Рис. 10



Мистическое представленіе грековъ о рѣкѣ Океанѣ.

судно (рис. 11). На извѣстномъ разстояніи исчезаетъ прежде всего корпусъ судна, а затѣмъ постепенно и его мачта. Это, конечно, легко наблюдать въ такомъ чистомъ воздухѣ, какой такъ часто бываетъ на берегахъ Средиземнаго моря. Такъ какъ эта

Рис. 11



Исчезаніе корабля вслѣдствіе кривизны земной поверхности.

кривизна наблюдается по всѣмъ направленіямъ, всюду, куда бы мы ни переѣхали, то греки заключили, что такой кривизной должна обладать вся поверхность земли.

Пиѳагору были также извѣстны причины затменій. Когда луна находится между нами и солнцемъ, то она можетъ совершенно или отчасти закрыть солнце; такимъ образомъ солнце можетъ затмеваться. Очевидно, это можетъ происходить только во вре-

http://mathesis.ru

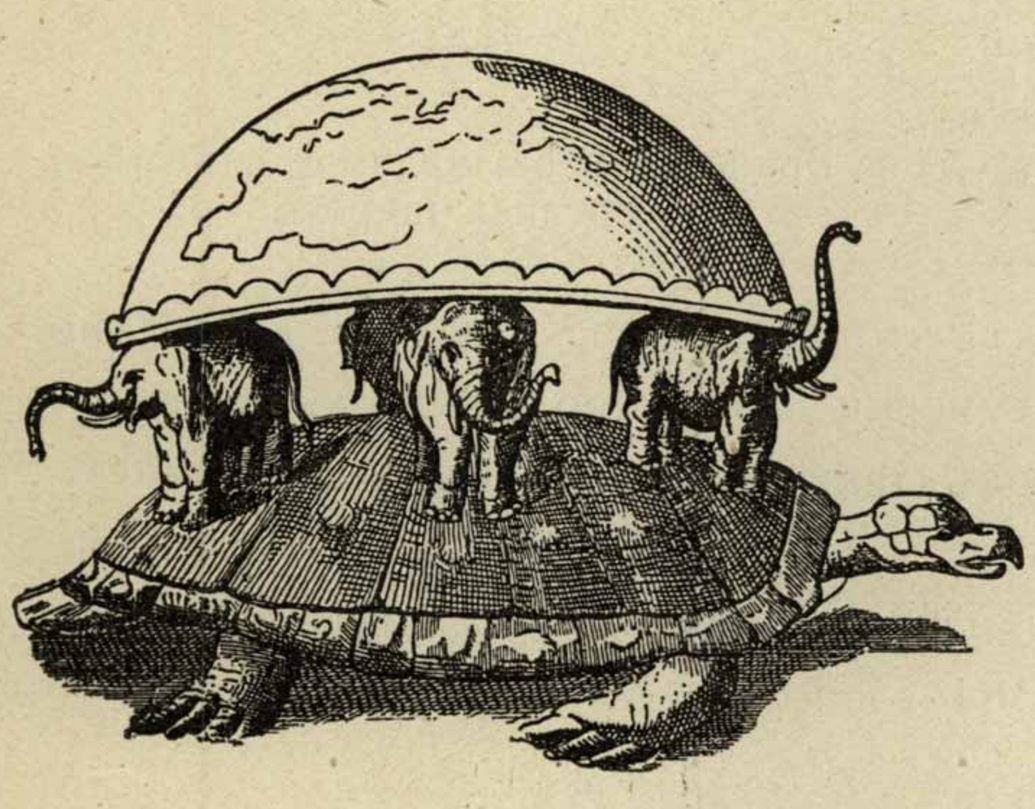
мя новолунія, слѣдовательно, когда луна невидима. Но это бываетъ не при всякомъ новолуніи, такъ какъ луна обыкновенно не пересѣкаетъ той линіи, по которой мы видимъ солнце.

Когда, съ другой стороны, земля находится между солнцемъ и луной, слѣдовательно, во время полнолунія, тѣнь земли можетъ упасть на луну. Пиѳагоръ признавалъ это за причину лунныхъ затменій. Большинство полнолуній проходитъ, однако, минуя земную тѣнь.

Земная тѣнь на лунѣ всегда имѣетъ форму круга, и потому круглой должна быть и сама земля; а такъ какъ это случается не только тогда, когда затмившаяся луна стоитъ высоко на небѣ (въ полночь), но и тогда, когда она стоитъ на небѣ низко на востокѣ (вскорѣ послѣ захода солнца) или на западѣ (не задолго до восхода солнца), то земля не можетъ быть круглымъ дискомъ, а должна быть круглой, какъ шаръ: шаръ есть единственное тѣло, которое бросаетъ круглую тѣнь, съ какой стороны ни упадетъ на него свѣтъ.

25. Теперь возникалъ вопросъ, чѣмъ держится земля. Народы древности отвѣчали на этотъ вопросъ разно. Такъ, индусы думали, что землю поддерживаютъ четыре слона, которые сами стоятъ на черепахѣ (рис. 12). Нѣкоторые изъ раннихъ греческихъ философовъ думали, что земля плаваетъ на водѣ, наполняющей ровно половину небеснаго шара, или на сгущенномъ воздухѣ; другіе же полагали, что она имѣетъ корни въ безконечности. Парменидъ (современникъ Сократа) сумѣлъ отвѣтить на этотъ вопросъ другимъ вопросомъ: куда должна падать земля? Вѣдь она находится въ центрѣ и все вокругъ земли находится надъ ней.

Рис. 12



Поддержка земли по представленію индусовъ.

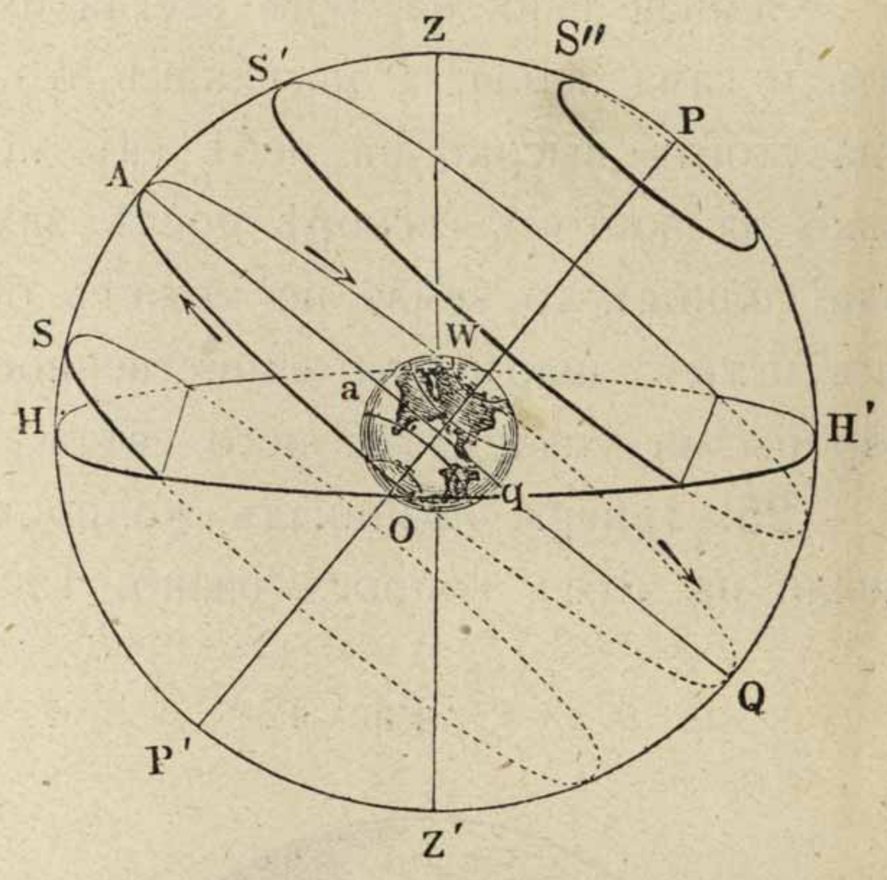
Вмѣстѣ съ этимъ направленіе внизъ становится равнозначащимъ съ направленіемъ къ центру земли. Въ каждомъ мѣстѣ земли имѣется свой низъ (надиръ) и верхъ (зенитъ). Люди, стоящіе въ разныхъ мѣстахъ на землѣ, относительно земли находятся всѣ въ одномъ положеніи. Но всякій склоненъ всегда считать себя на верху и считать свой „верхъ“ правильнымъ, тогда какъ другіе люди кажутся ему стоящими по бокамъ или внизу и потому не прямо. Переносясь на другое мѣсто, человѣкъ переноситъ съ собой это представленіе на новое мѣсто.

26. Наблюдатель въ нашихъ широтахъ видитъ сѣверный полюсъ P неба (рис. 13), т. е. ту точку, вокругъ которой видимо вращается небесный сводъ, между зенитомъ Z и горизонтомъ. Нѣкоторыя звѣзды представляются ему незаходящими, другія имѣютъ болѣе или менѣе длинныя дневныя дуги, плоскости которыхъ, однако, всѣ наклонены къ горизонту. Напротивъ, наблюдатель, помѣщающійся на томъ мѣстѣ земли, которое лежитъ „какъ разъ подъ“ P, т. е. на сѣверномъ полюсѣ земли, видитъ небесный полюсъ отвѣсно надъ собой (рис. 14), и всѣ небесныя тѣла сѣверной половины неба являются для него незаходящими и описываютъ горизонтальные пути.

http://mathesis.ru

Когда солнце, луна или планеты находятся на сѣверномъ полушаріи неба, то и они являются незаходящими и описываютъ горизонтальные пути. И такъ какъ они постепенно и медленно то приближаются къ сѣверному полюсу неба, то снова удаляются отъ него, то на сѣверномъ полюсѣ можно видѣть, что солнце въ день весенняго равноденствія появляется на горизонтѣ, обходитъ его кругомъ и въ теченіе слѣдующей четверти года медленно подымается до высоты $23^1/_2{}^0$ по нѣкоторой спиральной линіи, въ слѣдующую четверть года снова опускается и наконецъ исчезаетъ подъ горизонтомъ. Затѣмъ въ продолженіе полугода оно движется подъ горизонтомъ, производя нѣсколько времени послѣ исчезновенія и передъ новымъ появленіемъ зарю, которая въ теченіе сутокъ, слѣдуя за солнцемъ, обходитъ кругомъ весь горизонтъ.

Рис. 13



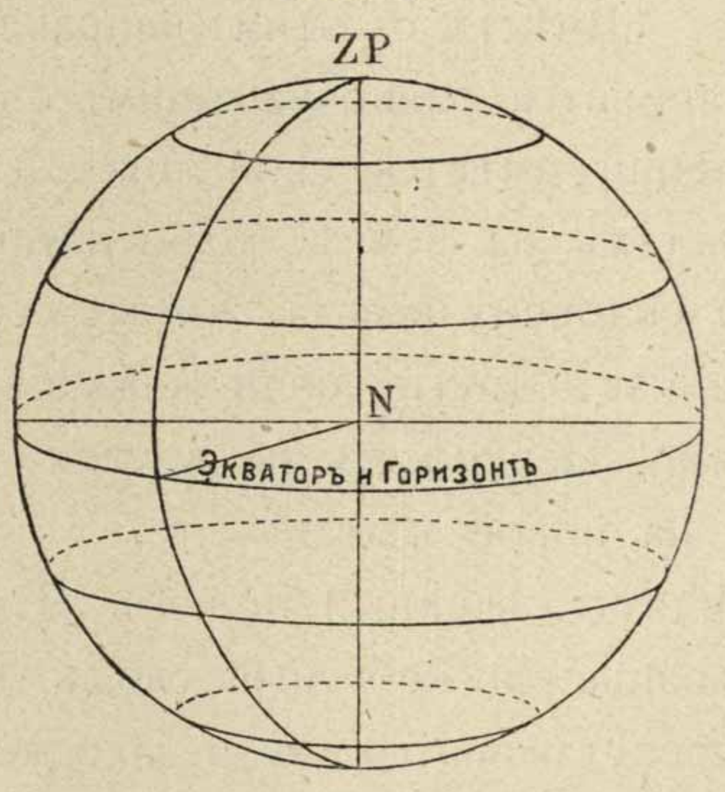
Вращеніе неба, видимое изъ мѣста средней широты.

Наконецъ, есть мѣста на землѣ, именно на ея экваторѣ, гдѣ сѣверный полюсъ неба лежитъ на горизонтѣ. Южный полюсъ неба, естественно, тогда также лежитъ на горизонтѣ (рис. 15). Всѣ небесныя тѣла имѣютъ здѣсь какъ дневную, такъ и ночную дугу по 12 часовъ; одни изъ нихъ движутся по бо̀льшимъ кругамъ, другія по меньшимъ, но всѣ такъ, что восходятъ и заходятъ отвѣсно. То же имѣетъ мѣсто и для солнца. Поэтому сумерки здѣсь продолжаются недолго.

27. Совершенно естественно у грековъ также долженъ былъ возникнуть вопросъ о величинѣ земного шара.

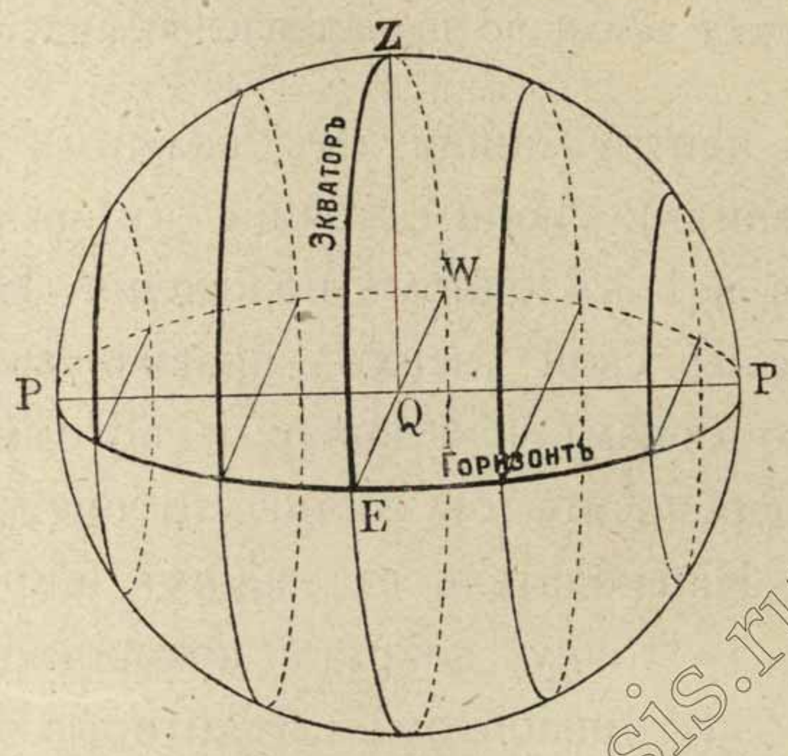
Первымъ писателемъ, у котораго мы находимъ данныя по этому предмету, является Аристотель. Онъ родился въ 384 г. до Р. Х. въ Стагирѣ. Его отецъ

Рис. 14



Вращеніе неба, видимое съ сѣвернаго полюса земли.

Рис. 15



Вращеніе неба, видимое изъ точки экватора.

былъ придворнымъ врачемъ македонскаго царя. 18 лѣтъ отъ роду Аристотель переселился въ Аѳины, гдѣ въ теченіе 20 лѣтъ былъ ученикомъ Платона. Когда ему было около 40 лѣтъ отъ роду, Филиппъ Македонскій назначилъ его воспитате-

http://mathesis.ru

лемъ своего сына Александра, на котораго онъ пріобрѣлъ большое вліяніе. Аристотель былъ ученый и высоко образованный человѣкъ и превосходный наставникъ. Когда Александръ взошелъ на тронъ, Аристотель снова переселился въ Аѳины, гдѣ основалъ школу (перипатетическую), которую посѣщало множество учениковъ. Онъ владѣлъ всѣмъ знаніемъ, которое къ тому времени было добыто (полигисторъ), составилъ множество трудовъ по самымъ различнымъ предметамъ и его взгляды пріобрѣли большое вліяніе. Хотя онъ былъ далеко не такъ глубокъ, какъ Платонъ, его воззрѣнія на природу встрѣтили гораздо больше сочувствія: это былъ превосходный систематикъ, облекавшій свои ученія въ подкупающую логическую форму. Его объясненія явленій природы, какъ мы увидимъ, вовсе не обладаютъ большой цѣнностью, но въ исторіи естествознанія они играли важную роль, такъ какъ служили предметомъ научныхъ споровъ въ теченіе цѣлыхъ тысячелѣтій. Вслѣдствіе политическихъ волненій онъ долженъ былъ покинуть Аѳины и умеръ въ 322 г. на островѣ Эвбеѣ, въ бѣдности и одиночествѣ. Аристотель говоритъ, что всѣ математики опредѣляютъ окружность земли въ 400 000 стадій, но онъ не указываетъ, кто опредѣлилъ эту величину и какимъ способомъ. Эта цифра, правда, приблизительно вдвое больше дѣйствительной величины, но повидимому она не взята прямо наудачу.

28. Первое измѣреніе, о которомъ мы имѣемъ достовѣрныя свѣдѣнія, принадлежитъ Эратосѳену, родившемуся въ городѣ Сіенѣ (Египетъ) въ 276 г. до Р. Х. Въ 236 г. онъ сталъ завѣдующимъ большой библіотекой въ Александріи, въ 195 г. ослѣпъ и вскорѣ затѣмъ умеръ. Нѣкоторые утверждаютъ, что онъ самъ кончилъ жизнь голодомъ въ отчаяніи отъ своего ослѣпленія.

Эратосѳенъ сооружалъ инструменты для измѣренія угловъ и по его предложенію царь Птолемей приказалъ устроить на крышѣ музея большія, прекрасныя армиллярныя сферы, т. е. шары, образованные кольцами, представлявшими важнѣйшіе круги на небѣ. Эратосѳенъ зналъ, что въ Сіенѣ былъ колодезь, дно котораго освѣщалось солнцемъ въ день лѣтняго солнцестоянія. Другими словами, солнце въ это время было для Сіены въ зенитѣ. Эратосѳенъ нашелъ, что въ то же время въ Александріи солнце стояло къ югу отъ линіи отвѣса на $^1/_{50}$ окружности, т. е. на $7^0\,12'$; разстояніе же этихъ двухъ мѣстъ онъ опредѣлялъ въ 5000 стадій. Изъ этихъ данныхъ онъ вычислилъ величину земного шара.

Если начертить кругъ (рис. 17), представляющій окружность земли, которая проходитъ черезъ Сіену S и черезъ Александрію A, то солнце должно стоять отвѣсно надъ S, слѣдовательно, въ направленіи MSO. Отвѣсная линія въ Александріи есть MAP, а солнце стоитъ въ направленіи AO. Уголъ $OAP = v$ есть, слѣдовательно, $7^0\,12'$. Но этотъ уголъ равенъ углу u, и потому разстояніе между Сіеной S и Александріей A равно $^1/_{50}$ окружности земли. Такъ какъ это разстояніе составляло 5000 стадій, то окружность земли равняется 50×5000 или 250 000 стадій. Хотя длина греческой стадіи неизвѣстна вполнѣ точно, однако, можно сказать, что измѣреніе Эратосѳена было довольно точно. Результатъ его измѣренія былъ вѣроятно слишкомъ великъ. Окружность земли составляетъ 5400 географическихъ миль, слѣдовательно, ея поперечникъ имѣетъ 1719 миль, а радіусъ $859^1/_2$ миль.

29. Современникомъ Эратосѳена былъ Аристархъ, родившійся на островѣ Самосѣ въ 267 г.

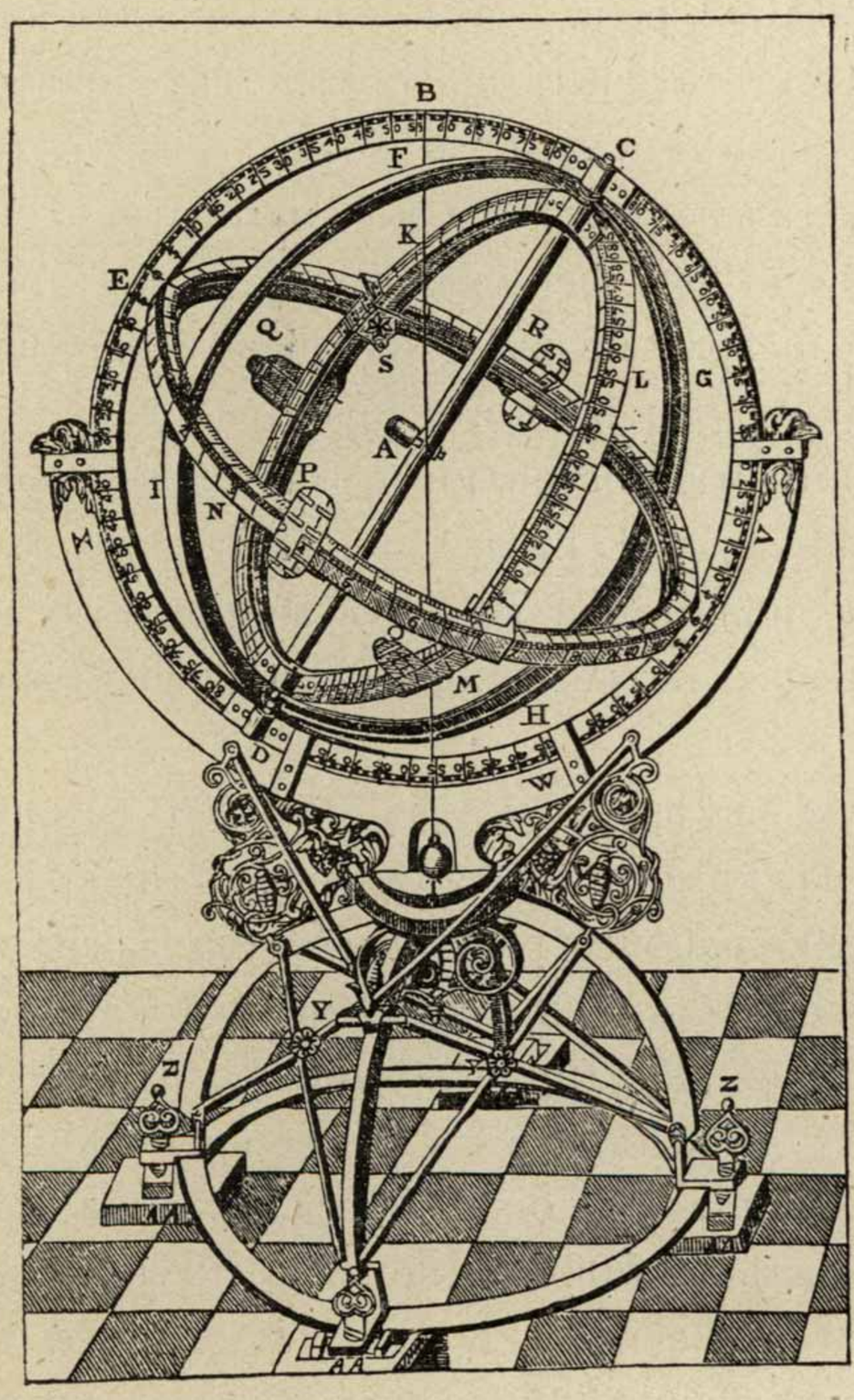
Уже Пиѳагорейцы говорили о движеніи земли вокругъ центральнаго огня, подъ

http://mathesis.ru

которымъ они вѣроятно разумѣли не солнце, а какой-то огонь далеко на югѣ, такъ какъ, чѣмъ дальше къ югу, тѣмъ становится теплѣе. Возможно, что позднѣе это ученіе развилось нѣсколько дальше, но повидимому Аристархъ всетаки первый высказалъ вполнѣ ясно, что земля дѣлаетъ оборотъ вокругъ своей оси въ теченіе сутокъ и что она движется вокругъ солнца по наклонному кругу въ теченіе одного года.

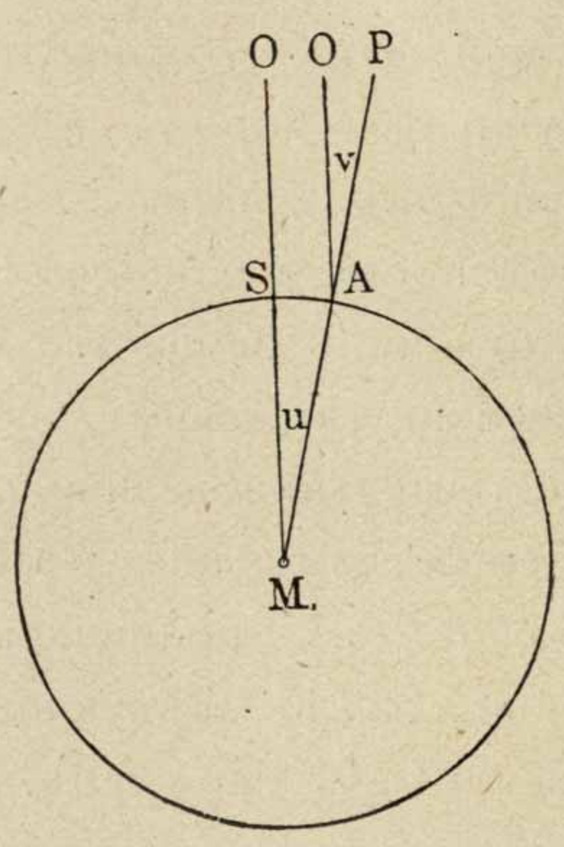
Мы знаемъ, какъ легко ошибиться, рѣшая, движется ли тотъ желѣзнодорожный поѣздъ, въ которомъ сидимъ мы, или движется въ противоположномъ направленіи другой

Рис. 16



Старинная армиллярная сфера.

Рис. 17



Измѣреніе величины земли.

поѣздъ, стоящій рядомъ съ нами; намъ поэтому легко понять, что по внѣшнему виду не будетъ разницы, будетъ ли двигаться небо въ одномъ направленіи или земля въ противоположномъ. Но въ поѣздѣ можно иногда наблюдать другія побочныя обстоятельства движенія, толчки вагона, переходъ отъ покоя къ движенію и наоборотъ. При вращеніи же земли нѣтъ никакихъ толчковъ и никакихъ измѣненій движенія.

Съ другой стороны, нужно, однако, замѣтить, что Аристархъ не далъ доказательства вращенія земли, хотя и считалъ болѣе вѣроятнымъ, что вращается маленькая земля, а огромное объемлющее ее небо находится въ покоѣ.

30. Другое утвержденіе Аристарха, а именно, что земля движется вокругъ солнца по наклонному кругу, вполнѣ объясняетъ движеніе солнца по эклиптикѣ. На рис. 18 буквы A, B, C, D обозначаютъ, соотвѣтственно, положеніе земли весною, лѣтомъ, осенью и зимою. Если мы, дѣйствительно, движемся вокругъ солнца, то мы должны наблюдать его послѣдовательно въ различныхъ направленіяхъ, въ которыхъ видимъ созвѣздія зодіака, хотя солнце всегда остается на одномъ и томъ же мѣстѣ.

Легко также объяснить движеніе солнца къ сѣверу и къ югу отъ экватора. Во

http://mathesis.ru

время весенняго равноденствія *A* солнце находится на небесномъ экваторѣ. Слѣдовательно, съ земли оно будетъ видимо на небѣ въ этомъ направленіи между звѣздами, которыя находятся на экваторѣ. Въ каждомъ мѣстѣ на землѣ солнце будетъ видимо въ теченіе полусутокъ. Во время лѣтняго солнцестоянія *B* солнце находится къ сѣверу отъ экватора. Его лучи падаютъ (въ полдень) отвѣсно на сѣверный тропикъ (тропикъ Рака, такъ какъ солнце въ это время находится въ этомъ созвѣздіи). Во всѣхъ мѣстахъ, лежащихъ внутри сѣвернаго полярнаго круга, солнце будетъ видимо круглыя сутки. Внутри южнаго полярнаго круга оно останется невидимымъ круглыя сутки. Во время осенняго равноденствія *C* солнце снова находится на экваторѣ и вездѣ день и ночь имѣютъ одинаковую продолжительность. Во время зимняго солнцестоянія солнце находится къ югу отъ экватора. Въ полдень оно находится въ зенитѣ для людей, живущихъ на южномъ тропикѣ (Козерога). Въ сѣверныхъ полярныхъ областяхъ солнце теперь совершенно невидимо, а въ южныхъ видимо круглыя сутки.

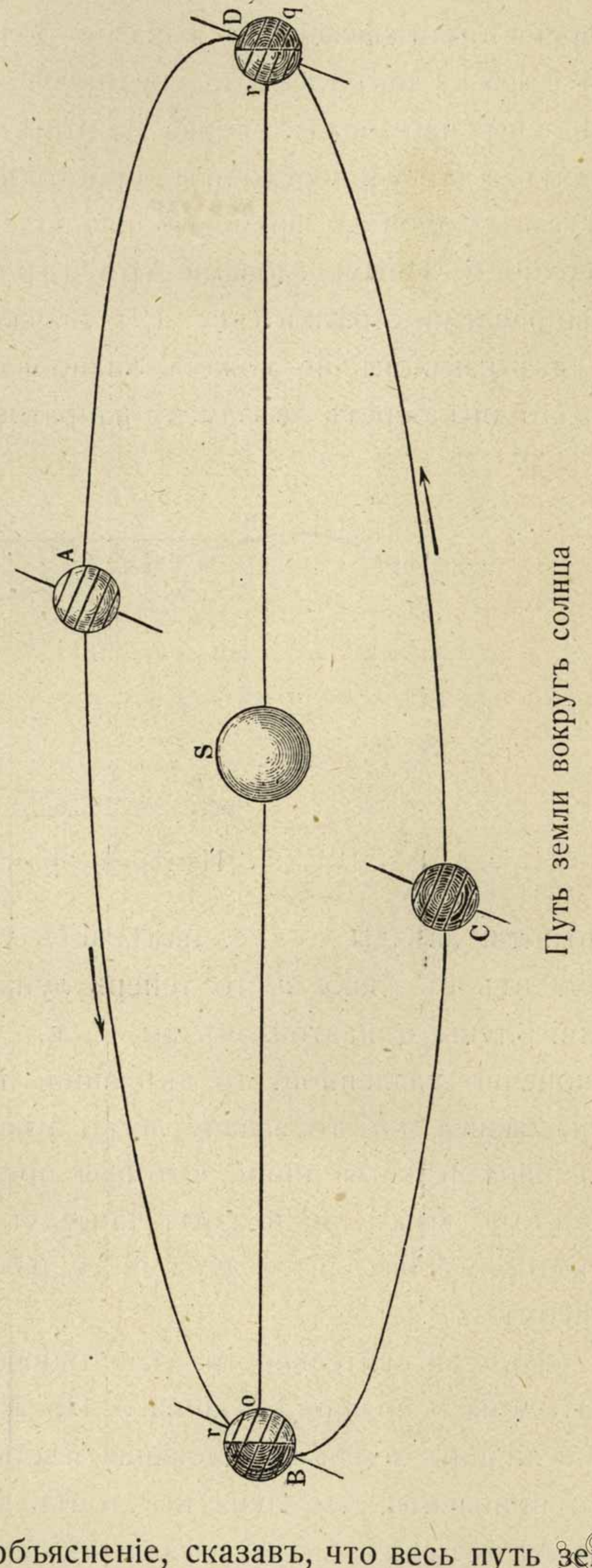


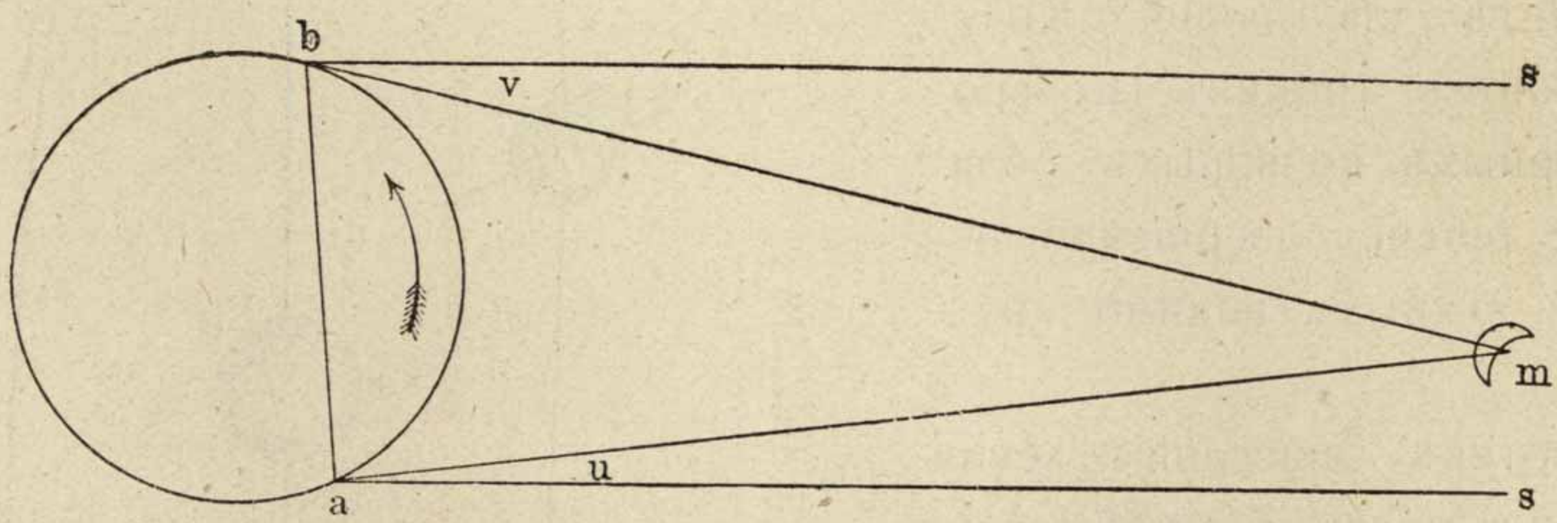
Рис. 18. Путь земли вокругъ солнца

31. Противъ движенія земли вокругъ солнца можно было бы возразить, что такое движеніе должно производить значительныя смѣщенія неподвижныхъ звѣздъ неба, что, напримѣръ, созвѣздія должны были бы казаться больше, когда земля находится къ нимъ ближе или что Полярная звѣзда не должна оставаться неизмѣнно на продолженіи земной оси, но должна нѣсколько отступать въ ту сторону отъ него, на которой находится солнце. Это возраженіе, впрочемъ, приводилось противъ этой такъ называемой „Коперниковой системы“ даже еще и въ новыя времена и, однако, уже Аристархъ далъ ему правильное объясненіе, сказавъ, что весь путь земли вокругъ солнца такъ же малъ въ сравненіи съ небомъ неподвижныхъ звѣздъ, какъ центръ шара въ сравненіи съ шаромъ. Великій современникъ Аристарха Архимедъ (§ 116) критикуетъ, однако, это выраженіе, такъ какъ точка вообще не стоитъ ни въ какомъ отношеніи къ шару. Но какъ мѣтко было образное выраженіе Аристарха, доказываютъ напрасныя попытки двухъ тысячелѣтій измѣрить разстояніе неподвижныхъ звѣздъ.

http://mathesis.ru

32. Аристархъ опредѣлилъ далѣе и разстояніе луны и солнца. Онъ примѣнилъ здѣсь тотъ же способъ, при помощи котораго Ѳалесъ опредѣлялъ разстояніе корабля (§ 23). Однако здѣсь рѣшеніе представляетъ бо̀льшія трудности. Даже луна уже такъ далека, что базиса (разстоянія наблюдателей другъ отъ друга) въ нѣсколько километровъ или въ нѣсколько миль недостаточно. При большемъ же разстояніи наблюдатели не могутъ видѣть другъ друга вслѣдствіе шарообразности земли и потому не могутъ визировать одинъ на другого. Кромѣ того далекія путешествія въ то время были связаны съ гораздо бо̀льшими затрудненіями, чѣмъ теперь. Поэтому Аристархъ, такъ сказать, соединилъ обоихъ наблюдателей въ своемъ собственномъ лицѣ. Онъ наблюдалъ сперва на томъ мѣстѣ, гдѣ находился въ какой-нибудь одинъ моментъ, а затѣмъ переходилъ, просто вслѣдствіе вращенія земли, въ ту точку пространства, въ которой во время ~~его~~ nego наблюденія находилась противоположная точка земной поверхности. Иными словами Аристархъ находится, въ то время какъ земля движется въ направленіи стрѣлки (рис. 19), сначала въ точкѣ a и наблюдаетъ восходящую луну. Но такъ какъ онъ не можетъ визировать на точку b, гдѣ онъ будетъ черезъ 12 часовъ, то онъ беретъ звѣзду въ направленіи s и измѣряетъ, сколько градусовъ отъ луны

Рис. 19



Измѣреніе разстоянія луны отъ земли.

m до этой звѣзды s, т. е. измѣряетъ уголъ u. Когда, вслѣдствіе вращенія земли, онъ приходитъ въ точку b, то теперь луна для него заходитъ; онъ снова мѣряетъ разстояніе луны отъ этой звѣзды, т. е. уголъ v. Такъ какъ звѣзду s можно считать безконечно удаленной, то двѣ линіи $a\,s$ и $b\,s$ параллельны. Значитъ, если извѣстна длина базиса $a\,b$, то задачу легко рѣшить при помощи чертежа. Изъ a и b проводятъ параллельныя линіи, которыя представляютъ линіи зрѣнія на звѣзду и откладываютъ отъ этихъ линій измѣренные углы u и v. Такимъ образомъ получаютъ мѣсто, на которомъ находится луна, и ея разстояніе $a\,m$ можно измѣрить по сравненію съ базисомъ $a\,b$.

Въ дѣйствительности дѣло однако не совсѣмъ такъ просто, какъ могло бы показаться на основаніи сказаннаго. Прежде всего Аристархъ долженъ былъ изъ извѣстной величины земли и положенія мѣста a получить разстояніе точекъ a и b. Къ этому надо прибавить, что луна не стоитъ въ теченіе этихъ 12 часовъ на мѣстѣ. Но такъ какъ Аристархъ зналъ, насколько перемѣщается къ востоку луна за одинъ сутки, то онъ могъ измѣнить направленіе послѣдней изъ двухъ линій зрѣнія, къ восходящей и заходящей лунѣ, соотвѣтственно происшедшему за этотъ промежутокъ перемѣщенію луны.

Этимъ путемъ Аристархъ нашелъ, что разстояніе луны отъ земли равно 56 радіусамъ земли. Это довольно близко подходитъ къ дѣйствительному.

33. Наконецъ, Аристархъ пытался измѣрить разстояніе солнца отъ земли. Это

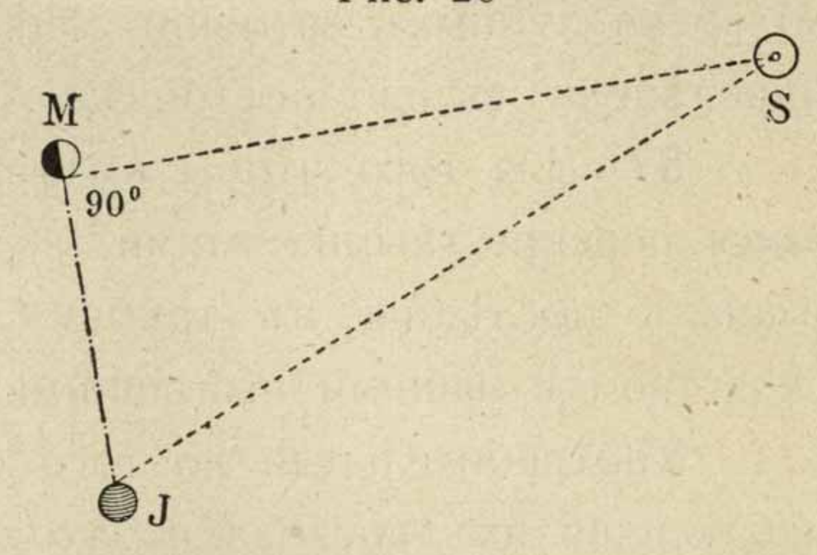
http://mathesis.ru

еще труднѣе, такъ какъ солнце настолько далеко, что даже поперечникъ земли слишкомъ малъ для базиса. Аристархъ понялъ однако, что базисомъ можетъ служить разстояніе луны отъ земли: онъ представлялъ себѣ наблюдателя на лунѣ, который визируетъ на солнце и на землю, тогда какъ онъ самъ на землѣ визировалъ на солнце и на луну.

Именно, Аристархъ производилъ наблюденіе въ моменты четвертей луны, т. е. когда освѣщена какъ разъ половина той стороны луны, которая обращена къ землѣ. Наблюдатель на лунѣ, находящійся въ это мгновеніе по срединѣ этой стороны, имѣлъ бы тогда землю въ зенитѣ, а солнце въ горизонтѣ. Такимъ образомъ линіи зрѣнія этого наблюдателя на солнце и на землю должны составлять уголъ въ 90°. Измѣривъ же уголъ между своими двумя линіями зрѣнія (онъ нашелъ его равнымъ 87°), Аристархъ могъ начертить треугольникъ MJS (рис. 20) и найти изъ него разстояніе солнца. Онъ нашелъ, что солнце находится отъ насъ въ 19 разъ дальше луны.

Этотъ способъ, конечно, въ высокой степени остроуменъ, но онъ не легко можетъ дать точный результатъ. Солнце во столько разъ (400) дальше луны, что разстояніемъ луны отъ солнца, какъ базисомъ, можно пользоваться, только предположивъ, что измѣреніе угловъ выполнено чрезвычайно точно въ самый моментъ лунной четверти. Но граница между освѣщенной и неосвѣщенной частью луны такъ неправильна, что даже съ помощью телескопа нельзя точно опредѣлить этотъ моментъ. Ошибка можетъ достигать нѣсколькихъ часовъ.

Рис. 20



Измѣреніе разстоянія солнца отъ земли.

34. Разъ извѣстны разстоянія луны и солнца отъ земли, то сравнительно легко найти величины этихъ небесныхъ тѣлъ. Если помѣстить небольшой круглый листъ на такомъ разстояніи отъ глаза, чтобы онъ какъ разъ покрывалъ луну, то, очевидно, можно сказать, что поперечникъ луны во столько разъ больше поперечника этого диска, во сколько разъ разстояніе луны больше разстоянія диска. Такимъ образомъ величину луны легко вычислить при помощи пропорціи. По Аристарху поперечникъ луны составляетъ $^{19}/_{60}$ (почти $^{1}/_{3}$) земного поперечника. На самомъ же дѣлѣ этотъ поперечникъ лишь немного больше $^{1}/_{4}$ поперечника земли. Ошибка этой величины, слѣдовательно, больше его ошибки въ разстояніи; однако возможно, что это сводится къ простой опискѣ.

Такъ какъ разстояніе солнца у Аристарха получилось слишкомъ малое, то, естественно, для величины солнца онъ также нашелъ слишкомъ малое число.

35. Аристархъ былъ обвиненъ Клеанѳомъ въ безбожіи и долженъ былъ покинуть Аѳины. Своимъ утвержденіемъ, что земля движется, онъ будто бы нарушилъ покой богини земли Гестіи. Когда, спустя 1700 лѣтъ, Николай Коперникъ снова провозгласилъ это ученіе, противъ него снова были возбуждены религіозныя обвиненія и оно снова потребовало жертвъ, хотя на этотъ разъ и не было заглушено. Та истина, что земля есть шаръ, несущійся черезъ пространство, обозначала, слѣдовательно, не малый переворотъ во всемъ кругѣ представленій человѣчества. Невольно возникаетъ вопросъ, не задержала ли участь Аристарха развитія этого ученія. Это очень мало вѣроятно, такъ какъ въ то время вѣра грековъ въ старыхъ боговъ

http://mathesis.ru

не имѣла уже большой внутренней силы, но во всякомъ случаѣ остается неизмѣннымъ тотъ фактъ, что геніальныя мысли Аристарха были забыты и постепенно вытѣснены поверхностнымъ воззрѣніемъ, что земля находится въ покоѣ, а все остальное движется вокругъ нея.

36. Въ слѣдующемъ за Аристархомъ столѣтіи появляется однако астрономъ, наблюденія, инструменты и работы котораго превзошли все, что было сдѣлано въ этомъ направленіи раньше. Этотъ астрономъ былъ Гиппархъ изъ Никеи. Его дѣятельность падаетъ на 160—125 гг. до Р. Х. Часть этого времени онъ проводитъ въ родномъ городѣ, часть на островѣ Родосѣ, принадлежавшемъ въ то время Египетскому царству, а часть, можетъ быть, также и въ столицѣ его, Александріи.

Гиппархъ вновь произвелъ опредѣленіе разстоянія луны и нашелъ, что оно въ среднемъ равно 59 радіусамъ земли, но что оно не всегда одинаково. Далѣе онъ нашелъ, что луна не всегда движется съ одной и той же скоростью, но что она движется скорѣе всего тогда, когда бываетъ ближе всего къ землѣ. Поперечникъ луны онъ правильно опредѣлилъ въ $^3/_{11}$ поперечника земли.

Разстояніе солнца онъ старался опредѣлить по величинѣ земной тѣни на лунѣ во время лунныхъ затменій. Но такъ какъ эта тѣнь ограничена не рѣзко, то его опредѣленіе вышло не точнѣе Аристархова (солнце въ 20 разъ дальше луны).

37. Для того чтобы имѣть возможность точно визировать, Гиппархъ пользовался перекрестными нитями, а для устраненія мѣшающаго бокового свѣта онъ помѣщалъ послѣднія въ трубку, что̀ такимъ образомъ получало извѣстное внѣшнее сходство съ нашими нынѣшними телескопами.

Употребительный до того способъ опредѣленія положеній свѣтилъ при помощи наблюденія ихъ восхода и захода онъ отбросилъ, какъ неточный, и ввелъ измѣренія при помощи такъ называемыхъ меридіанныхъ инструментовъ. Такъ какъ мы не знаемъ въ точности, какими инструментами пользовался Гиппархъ, то на рис. 21 изображенъ болѣе современный меридіанный инструментъ[1]). Онъ и теперь еще остается весьма важнымъ инструментомъ для наблюденій, подобныхъ тѣмъ, какія производилъ Гиппархъ со своимъ. Труба этого инструмента установлена такъ, что можетъ двигаться вокругъ оси, поставленной точно въ направленіи съ востока на западъ. Слѣдовательно, она движется въ плоскости меридіана даннаго мѣста, т. е. въ вертикальной плоскости, направленной съ сѣвера на югъ.

38. Особенной благодарностью потомство обязано Гиппарху за тщательный каталогъ, содержащій положенія 1022 звѣздъ. Это есть старѣйшій и до временъ Тихо Браге точнѣйшій звѣздный каталогъ. Какъ вслѣдствіе своей древности, такъ и по своей точности онъ имѣетъ неоцѣнимое значеніе, такъ какъ даетъ намъ свѣдѣнія о томъ, какія положенія занимали звѣзды 2000 лѣтъ тому назадъ. Чрезвычайно замѣчательно, что Гиппарха навело на мысль составить каталогъ появленіе вновь вспыхнувшей звѣзды: онъ желалъ дать возможность въ будущемъ опредѣлять, появляются ли вообще новыя звѣзды. Совершенно такъ же и Тихо Браге побудило предпринять подобную работу именно появленіе новой звѣзды.

Опредѣливъ при помощи меридіаннаго инструмента высоту SH (рис. 22) звѣзды въ меридіанѣ, нужно только отнять отъ нея высоту AH экватора, для того что-

---

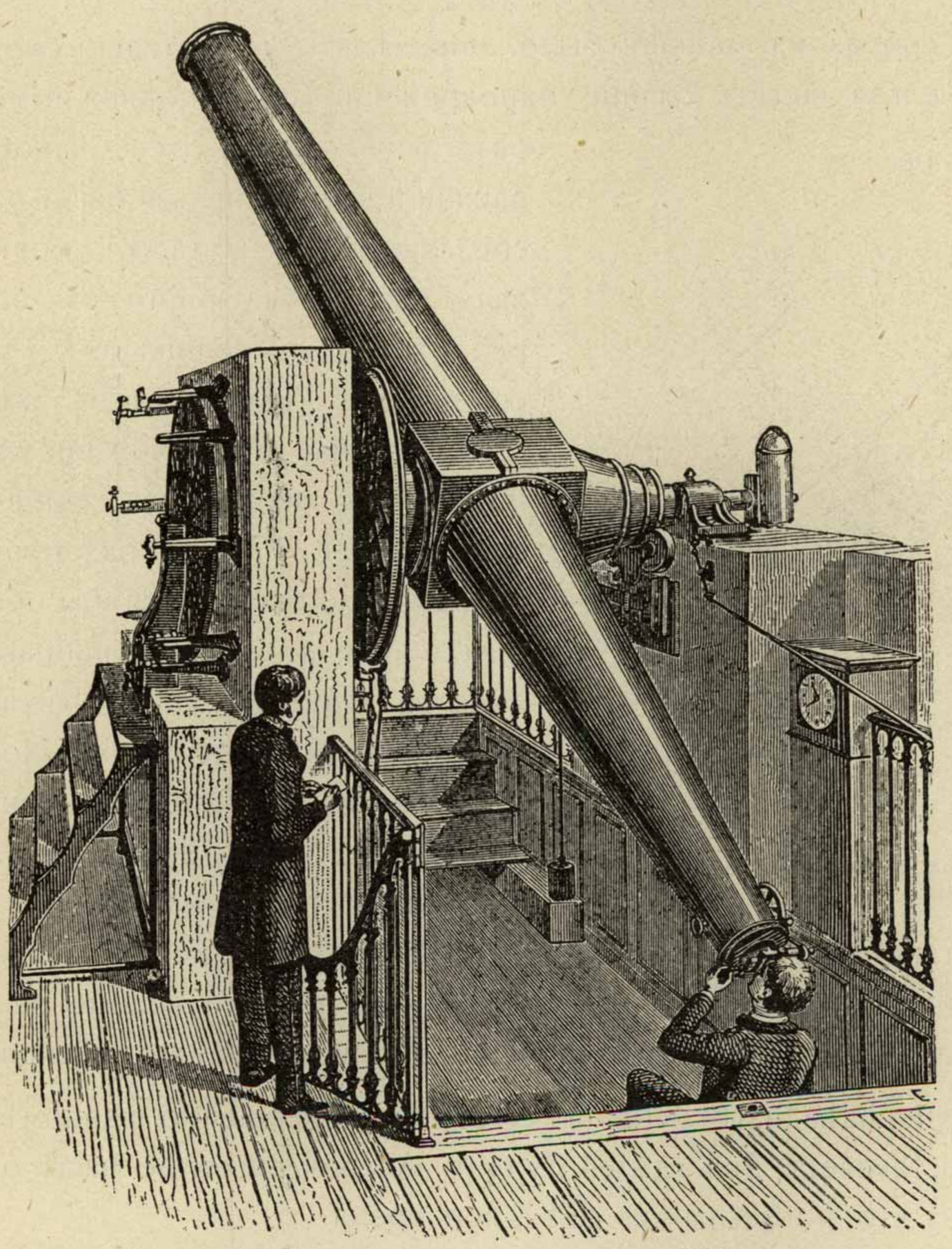
[1]) Первой половины XIX столѣтія. *Прим. пер.*

http://mathesis.ru

бы получить разстояніе этой звѣзды отъ экватора AS' или такъ называемое склоненіе. Этимъ до нѣкоторой степени уже опредѣляется положеніе звѣзды. Именно, звѣзда должна находиться на кругѣ, разстояніе котораго отъ полюса или отъ экватора намъ извѣстно. Но если нужно опредѣлить мѣсто звѣзды вполнѣ, то въ то же время нужно указать, какъ далеко находится эта звѣзда къ востоку или къ западу отъ какой-нибудь опредѣленной звѣзды, выбранной за исходную точку.

Со времени Тихо Браге это послѣднее опредѣленіе дѣлается при помощи часовъ. Опредѣляютъ промежутокъ времени между прохожденіями черезъ меридіанъ той

Рис. 21



Меридіанный инструментъ средины XIX вѣка.

звѣзды, которую выбрали за исходную, и той, мѣсто которой опредѣляютъ. Если послѣдняя проходитъ черезъ меридіанъ, напримѣръ, однимъ часомъ позднѣе, то она находится восточнѣе первой настолько, насколько небо поворачивается въ одинъ часъ, т. е. на $^1/_{24}$ часть 360^0 или на 15^0. Безразлично, брать ли эти 15^0 на кругахъ S, S', S'' или на экваторѣ. Обыкновенно этотъ „часовой уголъ“ представляютъ себѣ на экваторѣ. Итакъ, мѣсто звѣзды опредѣляется ея часовымъ угломъ и ея склоненіемъ. Но положенія звѣздъ въ каталогахъ опредѣляются не перемѣннымъ часовымъ угломъ, а обыкновенно ея угловымъ разстояніемъ отъ нѣкоторой постоянной точки, точки Овна или точки весенняго равноденствія, отсчитываемымъ по направленію къ востоку. Это угловое разстояніе носитъ названіе прямого восхожденія.

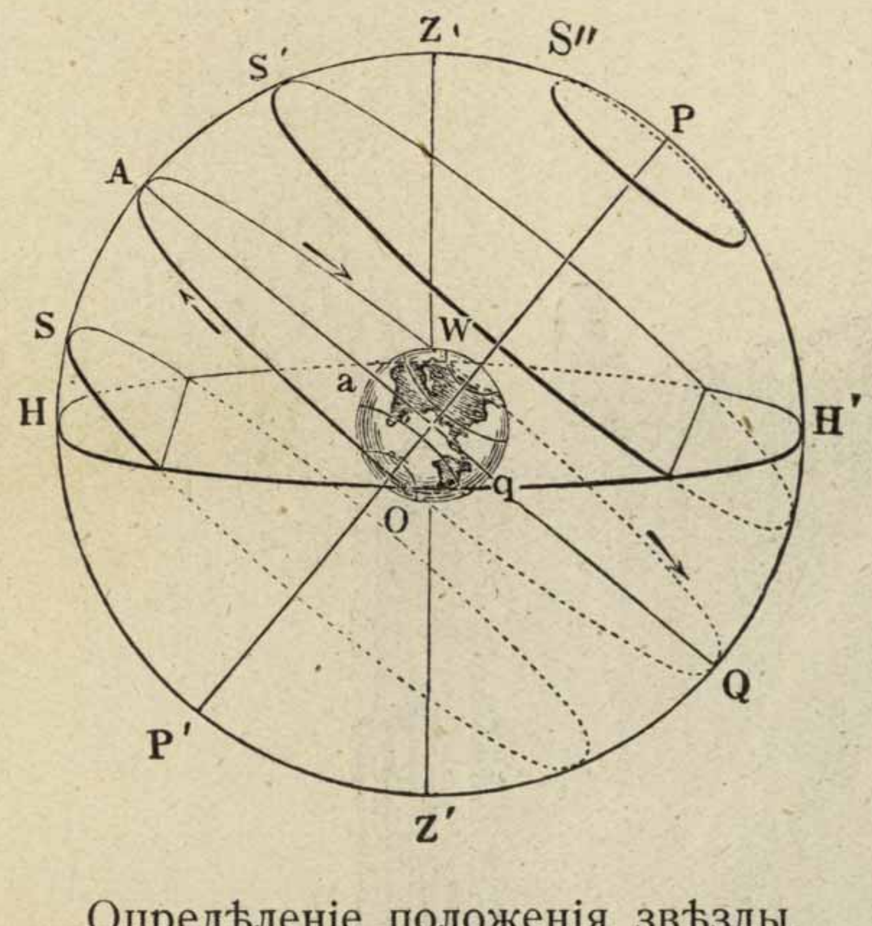
http://mathesis.ru

Однако, Гиппархъ не могъ опредѣлять часовой уголъ такимъ способомъ, такъ какъ опредѣленіе времени въ то время производилось слишкомъ неточно. Онъ долженъ былъ поэтому мѣрять разстояніе звѣзды непосредственно угловымъ измѣрительнымъ приборомъ (секстаномъ). Какого рода были его инструменты, мы не знаемъ, но его каталогъ позволяетъ думать, что они давали возможность дѣлать очень точныя измѣренія.

39. Положенія луны и планетъ Гиппархъ могъ всегда опредѣлять такимъ же образомъ. Высота свѣтила въ меридіанѣ давала ему склоненіе, а измѣреніе углового разстоянія отъ какой-нибудь извѣстной звѣзды давало прямое восхожденіе.

Такимъ же образомъ можно было опредѣлять и полуденную высоту солнца. Но такъ какъ нельзя видѣть солнце одновременно съ неподвижными звѣздами, то разстояніе солнца отъ какой-нибудь неподвижной звѣзды нельзя было опредѣлять непосредственно. Гиппархъ поэтому воспользовался, какъ связующимъ звеномъ, луною. Передъ заходомъ солнца онъ мѣрялъ разстояніе солнца отъ луны, а послѣ захода солнца разстояніе луны отъ какой-нибудь звѣзды. Если, напримѣръ, первое разстояніе составляло 35^0, а послѣднее 17^0, то разстояніе солнца отъ звѣзды было бы 52^0, еслибы оба измѣренія производились въ одномъ направленіи и еслибы луна за этотъ промежутокъ времени не имѣла собственнаго движенія. Но такъ какъ послѣднее имѣло мѣсто при всякихъ обстоятельствахъ, то Гиппарху приходилось исправлять результаты такого измѣренія и онъ дѣлалъ это исправленіе съ такою точностью, что открылъ неравномѣрность движенія солнца въ теченіе года. Это обстоятельство показало однако то, что солнце нельзя считать совершенно правильнымъ дѣлителемъ времени. Разсмотримъ это нѣсколько ближе.

Рис. 22



Опредѣленіе положенія звѣзды.

40. Вращеніе звѣзднаго неба (т. е. земли) совершенно равномѣрно. Время такого оборота составляетъ звѣздныя сутки. Астрономическіе часы обыкновенно регулируются такъ, что показываютъ звѣздное время.

Такъ какъ солнце каждый день передвигается нѣсколько къ востоку, то промежутки времени между двумя послѣдовательными прохожденіями солнца черезъ меридіанъ нѣсколько длиннѣе (приблизительно на 4 минуты) звѣздныхъ сутокъ; этотъ промежутокъ времени называется истинными солнечными сутками. Но такъ какъ солнце, какъ открылъ еще Гиппархъ, движется по эклиптикѣ не всегда съ одинаковой быстротою, то уже по одному этому длина солнечныхъ сутокъ съ теченіемъ года измѣняется. Къ этому присоединяется еще то, что путь солнца по эклиптикѣ не всегда направленъ какъ разъ на востокъ. Во время равноденствій путь солнца довольно сильно наклоненъ къ экватору, солнце сдвигается на востокъ меньше и солнечныя сутки становятся короче. Напротивъ, во время солнцестояній солнце движется почти параллельно экватору. Теперь солнце въ своемъ движеніи на востокъ смѣ-

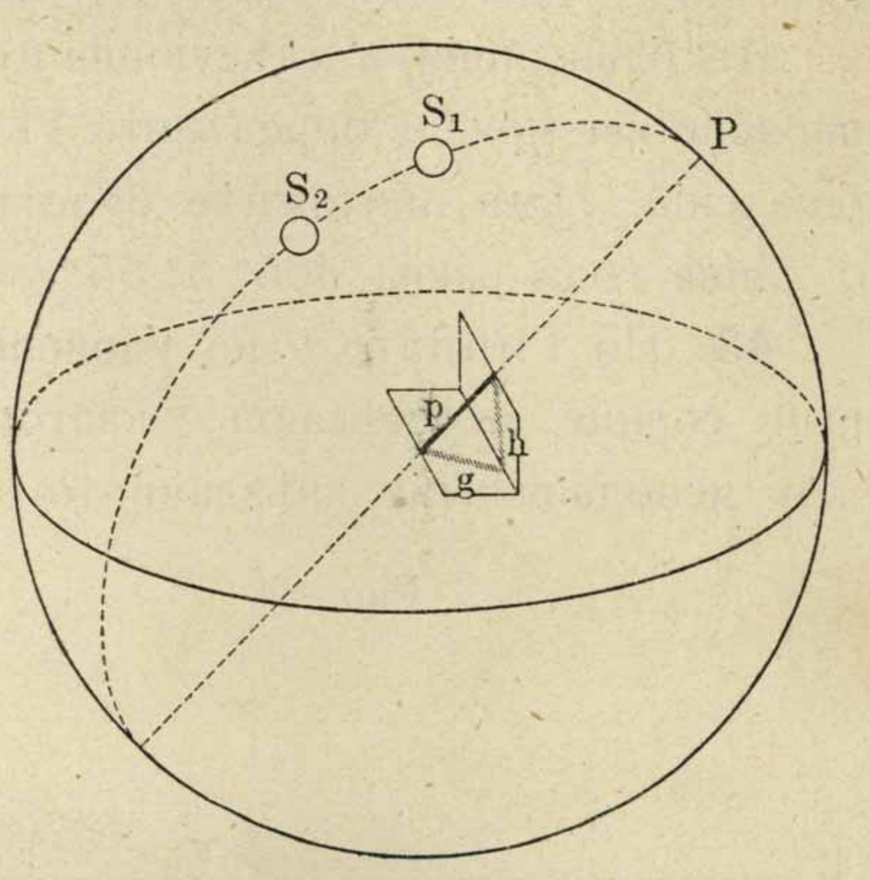
http://hraphesis.ru

щается больше соотвѣтственно тому, насколько одинъ градусъ солнечнаго пути больше градуса той параллели, по которой въ этотъ моментъ идетъ солнце.

Однако, въ обыденной жизни сутки различной длины неудобны, такъ какъ часы должны имѣть равномѣрный ходъ. Поэтому установили еще третій родъ сутокъ— среднія солнечныя сутки. Если представить себѣ солнце, которое равномѣрно движется по экватору, дѣлая одинъ оборотъ въ годъ, то среднія солнечныя сутки будутъ равны времени между двумя послѣдовательными прохожденіями черезъ меридіанъ этого солнца. Наши часы идутъ по такому воображаемому солнцу. Слѣдовательно, они не всегда показываютъ 12, когда истинное солнце находится въ меридіанѣ (на югѣ). Календари содержатъ табличку, которая указываетъ для различныхъ временъ года то время по часамъ, когда солнце стоитъ какъ разъ на югѣ (отступленіе отъ 12 часовъ носитъ названіе уравненія времени). Гражданскій полдень вслѣдствіе этого обыкновенно бываетъ не совсѣмъ по срединѣ между восходомъ и заходомъ солнца. Взглядъ въ календарь покажетъ, что дополуденное время и послѣполуденное имѣютъ различную продолжительность. Передъ новымъ годомъ, напримѣръ, короче послѣполуденное время, а послѣ новаго года дополуденное время.

41. Древніе пользовались солнечными часами (по гречески гномонъ), на которыхъ по длинѣ тѣни стержня можно видѣть, который часъ. Повидимому, вначалѣ для полученія тѣни пользовались вертикальнымъ стержнемъ. Нѣкоторые предполагаютъ, что для этой цѣли служили и египетскіе обелиски. Во многихъ мѣстахъ пользовались вѣроятно длиною тѣни, въ другихъ, наоборотъ, ея направленіемъ. Но и въ томъ и въ другомъ случаѣ солнечные часы, правильные въ одно время года, не будутъ вѣрны въ другое.

Рис. 23



Устройство солнечныхъ часовъ.

Для того, чтобы солнечные часы были вѣрны для всякаго времени года, стержень, отбрасывающій тѣнь, долженъ быть направленъ къ сѣверному полюсу неба. Тогда въ любое время (напримѣръ, въ 2 часа пополудни) солнце будетъ находиться на соотвѣтственномъ кругѣ склоненій $P S_1 S_2$ (рис. 23) и стержень будетъ составлять часть діаметра этого круга. Слѣдовательно, тѣнь стержня p будетъ падать въ плоскости названнаго круга и будетъ находиться тамъ, гдѣ плоскость $S_2 S_1 P p$ пересѣкаетъ плоскость солнечныхъ часовъ, безразлично, будетъ ли послѣдняя находиться въ горизонтальномъ (g), вертикальномъ (h) или въ какомъ-нибудь иномъ положеніи. Тѣнь будетъ получаться всегда на одномъ и томъ же мѣстѣ, будетъ ли находиться солнце въ S_1 или въ S_2, значитъ, во всякое время года, какъ скоро солнце будетъ стоять на кругѣ склоненій, соотвѣтствующемъ данному времени (2 часа пополудни).

42. Далѣе Гиппархъ опредѣлилъ съ необыкновенной точностью длину года и это повело его къ дальнѣйшимъ открытіямъ.

До Гиппарха для опредѣленія длины года отсчитывали число дней, начиная съ того дня, въ который солнце лѣтомъ достигаетъ наибольшей высоты, и до того дня,

http://mathesis.ru

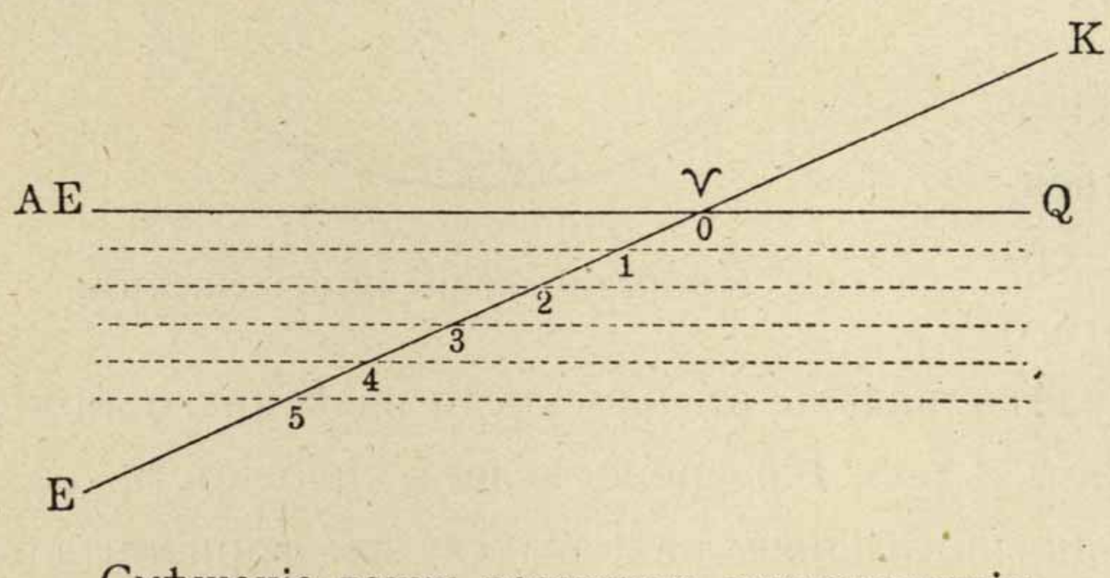
когда оно снова приходитъ въ это положеніе. Но та часть эклиптики, на которой солнце бываетъ во время солнцестояній, приблизительно параллельна экватору. Вслѣдствіе этого солнце около этого времени въ теченіе нѣсколькихъ дней подрядъ бываетъ въ полдень почти на одной и той же высотѣ. Разница была такъ незамѣтна для инструментовъ того времени, что изъ наблюденій одного только года нельзя было даже рѣшить, въ какой именно день солнце достигаетъ самой сѣверной точки своего пути. Еще труднѣе было опредѣлить тотъ часъ, въ который солнце занимаетъ это положеніе. Если народы древности, несмотря на это, знали длину года довольно хорошо, то это объясняется тѣмъ, что у нихъ были многолѣтнія наблюденія. Если за одинъ годъ можно ошибиться на нѣсколько дней, то эта ошибка не будетъ очень велика, когда распредѣлится на болѣе длинный рядъ годовъ.

Гиппархъ понялъ, что время равноденствій значительно удобнѣе для опредѣленія длины года. Во время весенняго равноденствія, напримѣръ, солнце проходитъ то мѣсто, гдѣ эклиптика пересѣкаетъ экваторъ, и за сутки очень замѣтно перемѣщается по направленію къ сѣверу. Если 21 марта солнце находится въ полдень на 7′ къ югу отъ экватора, то на слѣдующій день въ полдень оно будетъ на 17′ къ сѣверу. Эту разницу въ 24′ легко замѣтить и измѣрить при помощи меридіаннаго инструмента. Это наблюденіе не только указываетъ, что равноденствіе пришлось на 21, а не на 22 марта, но и то, что солнце прошло экваторъ въ 7 часовъ вечера 21 марта, такъ какъ оно смѣщается къ сѣверу приблизительно на 1′ въ часъ.

Въ ближайшій и слѣдующіе годы прохожденіе солнца черезъ точку весенняго равноденствія можно опредѣлить съ той же точностью и, чѣмъ больше будетъ число наблюденій, тѣмъ ничтожнѣе будетъ ошибка. Такимъ образомъ Гиппархъ нашелъ, что длина года равна $365^д\ 5^ч\ 55^м$ —только на 6 минутъ больше дѣйствительнаго.

43. Но Гиппархъ не удовольствовался опредѣленіемъ того момента, въ который солнце пересѣкаетъ экваторъ; онъ постарался опредѣлить также положеніе между неподвижными звѣздами того мѣста, гдѣ это происходитъ. Вѣроятно, онъ нашелъ какую-нибудь неточность или измѣнчивость этой точки пересѣченія, такъ какъ при этой работѣ онъ воспользовался также опредѣленіями предшествовавшихъ астрономовъ; эти опредѣленія были, правда, менѣе точны, но за то ихъ бо̀льшая древность могла дать возможность судить о ходѣ явленія за болѣе долгое время.

Рис. 24



Смѣщеніе точки весенняго равноденствія.

При этомъ ему удалось сдѣлать замѣчательное открытіе, а именно, что экваторъ пересѣкаетъ эклиптику каждый годъ не въ той точкѣ, гдѣ это происходило въ предыдущемъ году, а въ нѣсколько иномъ мѣстѣ. Если EK (рис. 24) есть эклиптика, а AE экваторъ, то при своемъ перемѣщеніи отъ E къ K солнце въ одномъ году пересѣкаетъ экваторъ, напримѣръ, въ точкѣ 0. Въ слѣдующемъ году экваторъ немного подойдетъ на встрѣчу солнцу и солнце пересѣчетъ экваторъ въ точкѣ 1, въ слѣдующемъ году въ точкѣ 2 и т. д. Такимъ образомъ точка весенняго равноденствія постоянно смѣщается по эклиптикѣ въ направленіи къ югозападу. Это смѣщеніе очень невелико,

http://mathesis.ru

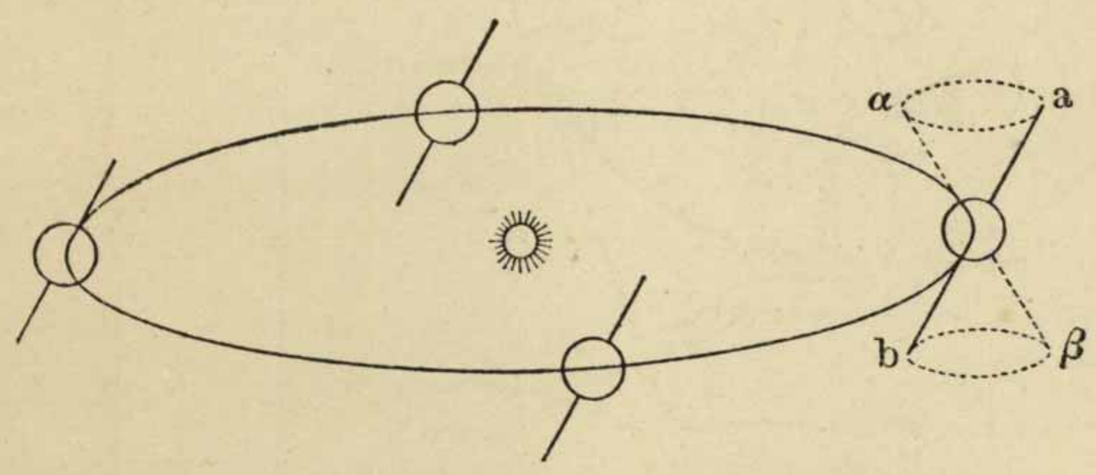
такъ какъ точкѣ весенняго равноденствія нужно 26000 лѣтъ для совершенія полнаго оборота по эклиптикѣ. Тѣмъ больше заслуга Гиппарха, открывшаго это медленное, но важное явленіе, называемое предвареніемъ равноденствій или прецессіей.

Тропическій годъ, опредѣленный Гиппархомъ, представляетъ собою, слѣдовательно, время, въ теченіе котораго солнце совершаетъ какъ разъ одинъ оборотъ отъ точки 0 до точки 1. Для того чтобы дойти снова до точки 0, т. е. до первоначальнаго положенія относительно звѣздъ, солнцу нужно только немного больше времени. Для этого періода, звѣзднаго года, Гиппархъ нашелъ $365^д\ 6^ч\ 14^м$ (больше истиннаго только на 4 минуты).

44. Гиппархъ занимался исключительно наблюденіями и измѣреніями. Онъ не пускался въ теоретическія объясненія и Птолемей (§ 55) говоритъ о немъ, что онъ не хотѣлъ дать теоріи планетныхъ движеній, чтобы не омрачить своей славы. Во всякомъ случаѣ это указываетъ на то, что Гиппархъ хорошо сознавалъ, какая важная роль принадлежитъ фактамъ. Но послѣ открытія прецессіи объясненія Аристарха относительно движенія земли потребовали нѣкоторыхъ измѣненій.

Такъ какъ эклиптика не мѣняется, то плоскость земного пути должна оставаться неизмѣнной[1]). На рис. 25 горизонтальный эллипсъ представляетъ путь земли, а ab и параллельныя ей линіи— земную ось. Тогда какъ, согласно взгляду Аристарха, земная ось должна быть всегда одинаково наклонена къ пути земли, мы видимъ теперь, что земная ось не остается всегда параллельной самой себѣ, но что съ теченіемъ тысячелѣтій она принимаетъ другія направленія, такъ что полюсъ неба описываетъ кругъ около полюса эклиптики. Мы можемъ наблюдать это явленіе въ малыхъ размѣрахъ на волчкѣ, который вращается вокругъ своей оси, описывающей въ то же время конусъ.

Рис. 25



Движеніе земной оси въ теченіе 26000 лѣтъ

Если теперь земная ось имѣетъ направленіе ab, то спустя 13000 лѣтъ она будетъ имѣть направленіе $\alpha\beta$. Тогда во время лѣта солнце будетъ на томъ мѣстѣ зодіака, гдѣ теперь оно бываетъ зимою. Наклонъ оси также не остается неизмѣннымъ, такъ какъ ось не движется точно по кругу. Въ настоящее время наклонъ оси убываетъ на 50″ въ столѣтіе.

Такимъ образомъ земная ось съ теченіемъ тысячелѣтій послѣдовательно направляется на все новыя и новыя звѣзды, и полюсъ міра вслѣдствіе этого описываетъ между звѣздами кругъ (рис. 26). Нынѣшняя Полярная звѣзда съ теченіемъ времени

---

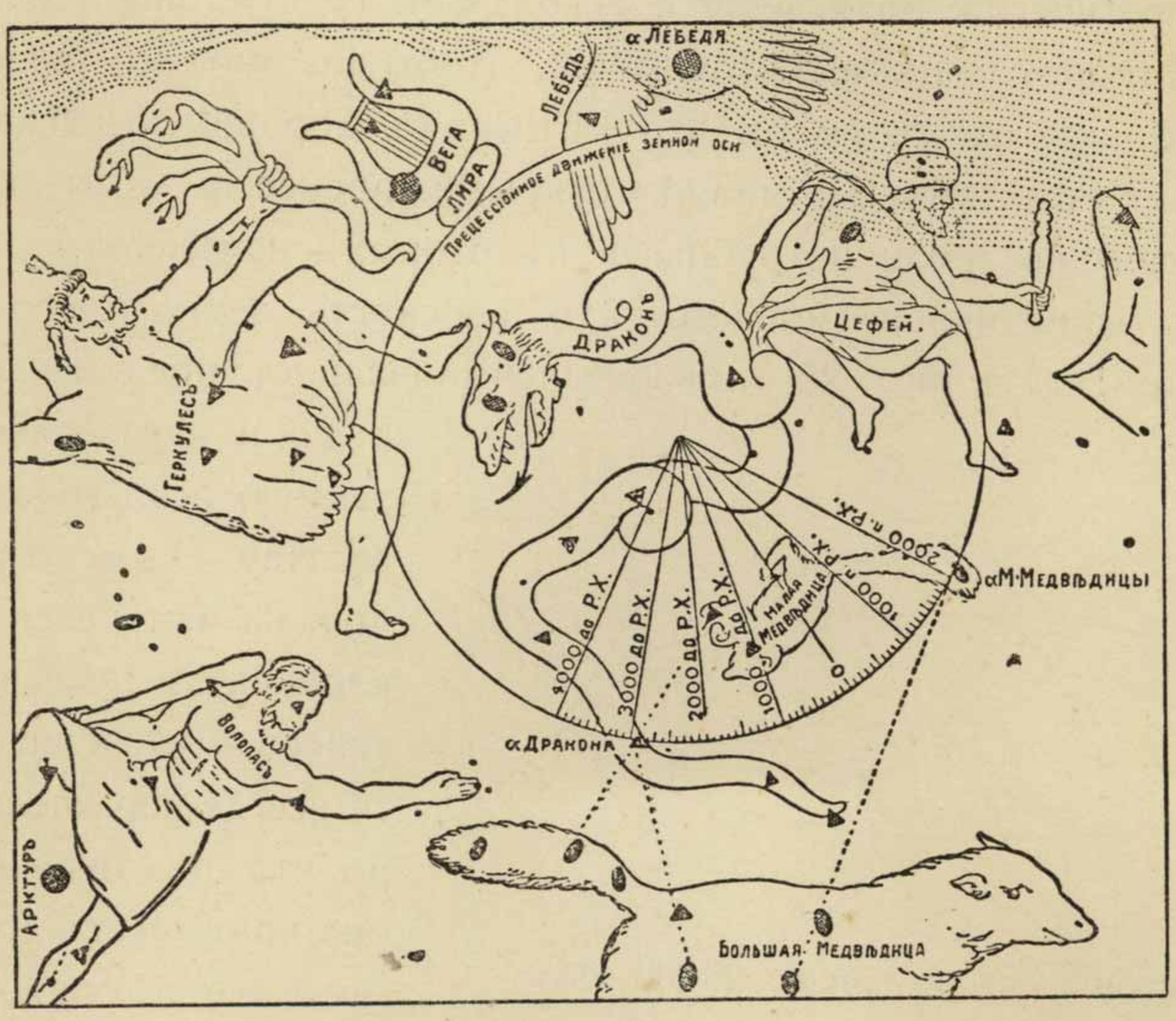
[1]) Вслѣдствіе этого Гиппархъ относилъ положеніе звѣзды не къ экватору, какъ это обыкновенно дѣлалось раньше, а къ эклиптикѣ. Такъ какъ положеніе экватора измѣняется, то измѣняется и положеніе звѣзды относительно него, т. е. ея склоненіе и прямое восхожденіе. Разстояніе звѣзды отъ эклиптики называется ея широтой, разстояніе точки, въ которой кругъ широты пересѣкается съ эклиптикою, отъ точки весенняго равноденствія называется долготою. Первая неизмѣнна, послѣдняя мѣняется, но по очень простому закону, равномѣрно.

http://mathesis.ru

будетъ замѣнена другими звѣздами, теперь еще далекими отъ полюса. Спустя 10000 лѣтъ полярной звѣздой будетъ Вега.

45. Изъ древнихъ грековъ Анаксимандръ (611—545 гг. до Р. Х.), наслѣдникъ Ѳалеса въ качествѣ вождя Іонійской школы, первый пытался чертить ландкарты на мѣдныхъ доскахъ. А если эту работу выполнять сколько-нибудь точно и притомъ для довольно значительной части земного шара, то безъ астрономическихъ наблюденій обойтись нельзя. Нѣкоторыя свѣдѣнія въ этомъ отношеніи, напримѣръ, то, что Полярная звѣзда стоитъ на небѣ тѣмъ выше, чѣмъ дальше къ сѣверу, были извѣстны

Рис. 26



Перемѣщеніе сѣвернаго полюса.

еще до Гиппарха. Точно такъ же со времени Аристарха во всякомъ случаѣ понимали, что два мѣста, удаленныя другъ отъ друга въ направленіи съ востока на западъ, имѣютъ полдень не въ одно и то же время. Но Гиппархъ, повидимому, первый опредѣлялъ положеніе мѣста на землѣ при помощи астрономическихъ наблюденій.

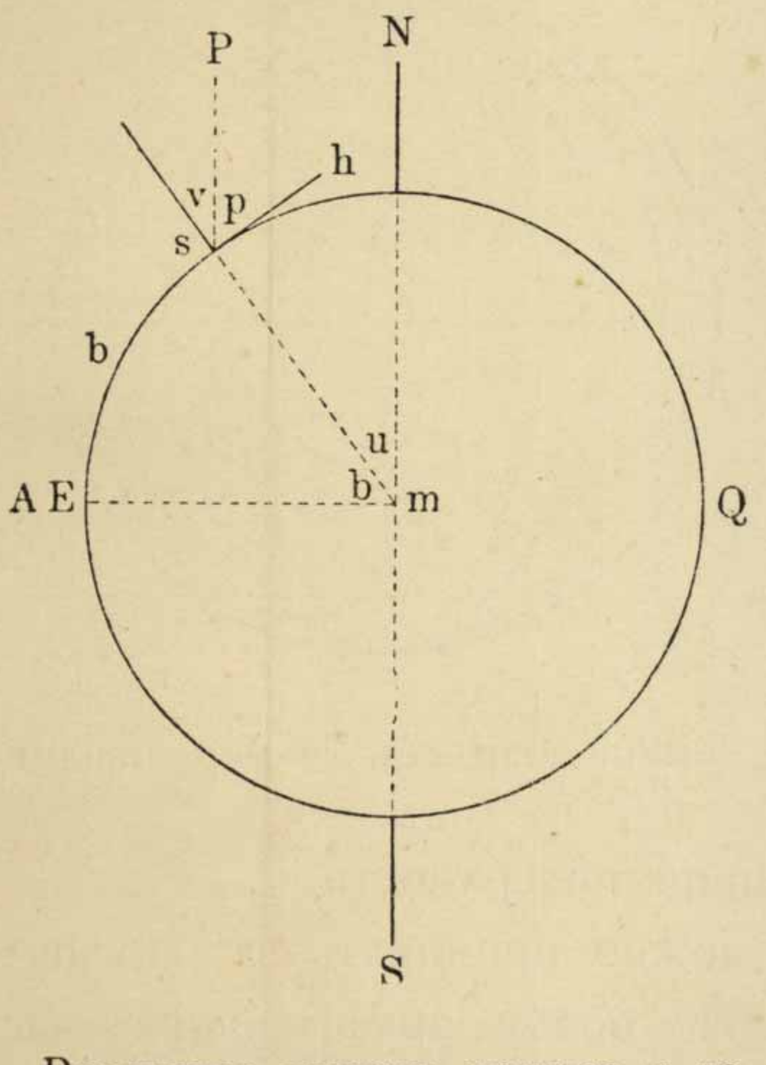
Само собою разумѣется, Гиппархъ ясно сознавалъ, что извѣстныя въ его время страны занимали только небольшую часть всей земной поверхности. Опредѣляя окружность земли въ 275 000 стадій, онъ оцѣниваетъ наибольшее протяженіе извѣстныхъ ему обитаемыхъ странъ въ 70 000, а ширину отъ экватора до Ѳуле въ 46 200 стадій. Введенный имъ способъ обозначенія положенія мѣста состоялъ въ томъ, что онъ давалъ его разстояніе отъ экватора и разстояніе отъ извѣстнаго пункта къ востоку или западу. Первое разстояніе онъ называлъ широтою, послѣднее долготою. Извѣстная въ то время часть земной поверхности имѣла наибольшее протяженіе въ направленіи съ востока на западъ, по долготѣ.

46. Опредѣленіе географической широты какого-нибудь мѣста состоитъ въ измѣреніи въ этомъ мѣстѣ высоты полюса надъ горизонтомъ; какъ легко видѣть, послѣдняя въ точности равна угловому разстоянію этого мѣста отъ экватора.

http://mathesis.ru

На рис. 27 кругъ представляетъ землю, NS ея ось и AEQ экваторъ. Для мѣста s линія sP есть направленіе полюса міра, sh горизонтъ и ms вертикальная линія. Эта послѣдняя линія образуетъ равные углы съ параллельными прямыми sP и mN. Поэтому углы v и u, а, слѣдовательно, и углы p (высота полюса) и b (широта) равны между собой.

Рис. 27



Равенство высоты полюса и географической широты.

Еслибы Полярная звѣзда находилась какъ разъ въ самомъ полюсѣ, то въ путешествіи достаточно было бы измѣрять только ея высоту, —это давало бы въ точности широту мѣста. Морякъ, для котораго опредѣленіе широты имѣетъ огромную важность, часто пользуется для этого также солнцемъ. Послѣднее около полудня движется параллельно горизонту. Поэтому нѣтъ необходимости измѣрять высоту солнца именно въ тотъ моментъ, когда оно находится какъ разъ на югѣ. На морѣ, гдѣ ничѣмъ нельзя отмѣтить полуденной линіи, было бы трудно опредѣлить этотъ моментъ. Если извѣстна высота солнца, то изъ морского календаря берутъ разстояніе солнца отъ полюса для соотвѣтственнаго дня и складываютъ эти два угла. Высота полюса въ данномъ мѣстѣ получится, если найденную сумму отнять отъ 180^0 (рис. 2).

47. Но особенно труднымъ для древнихъ было опредѣленіе долготы. Мѣста, лежащія въ направленіи къ сѣверу или къ югу другъ отъ друга, имѣютъ полдень, очевидно, въ одно время. Линія отъ полюса до полюса, проходящая черезъ эти мѣста, называется полуденной линіей или меридіаномъ. Напротивъ того, на различныхъ меридіанахъ полдень бываетъ въ различное время и эта разница во времени зависитъ отъ разстоянія между меридіанами. Такъ какъ земля совершаетъ полный оборотъ въ 24 часа, то въ часъ она поворачивается на 15^0, въ 4 минуты на 1^0. На каждый градусъ отдаленія меридіана къ западу часы отстаютъ, слѣдовательно, на 4 минуты.

Если извѣстна разница временъ двухъ мѣстъ, то можно вычислить, насколько градусовъ одно лежитъ западнѣе другого. Поэтому съ точными часами (хронометръ), показывающими правильное время въ данномъ мѣстѣ, можно ѣхать въ другое мѣсто и изъ разницы временъ этихъ двухъ мѣстъ вычислить разность ихъ долготъ. Но въ древности не было точныхъ часовъ, не было, конечно, и телеграфовъ, при помощи которыхъ теперь можно въ одно мгновеніе передать въ любое мѣсто, который часъ теперь въ другомъ мѣстѣ.

У Гиппарха явилась остроумная мысль воспользоваться, въ видѣ міровыхъ часовъ, луною во время луннаго затменія. Въ Римѣ и въ Александріи начало затменія происходитъ въ одно и то же время. Если опредѣлить при помощи астрономическихъ наблюденій это время въ обоихъ мѣстахъ, то оказывается, что затменіе въ Александріи, напримѣръ, наблюдалось въ 10 часовъ, а въ Римѣ въ 8 час. 52 мин. Отсюда слѣдуетъ, что Римъ лежитъ на 17^0 западнѣе Александріи.

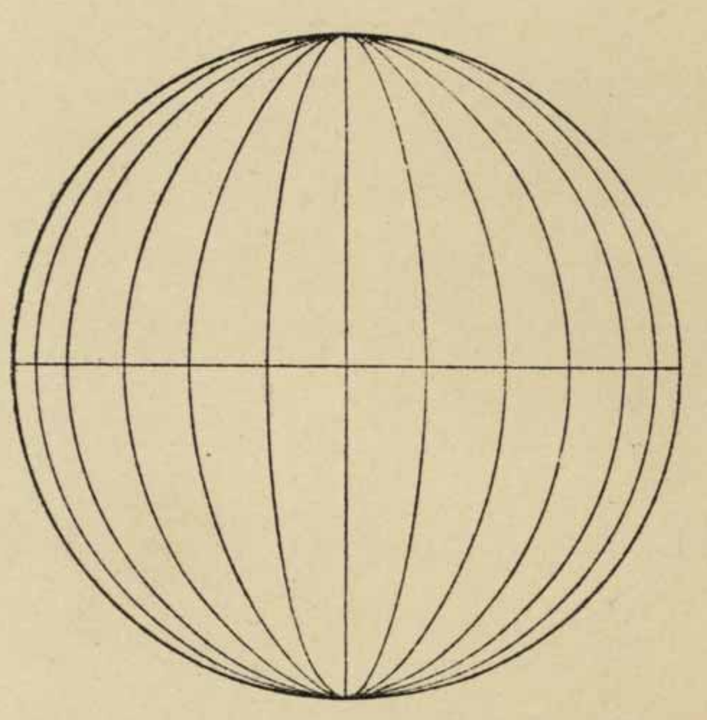
Въ новѣйшее время, согласно предложенію Людовика XIII въ 1634 году,

http://mathesis.ru

меридіаны считаютъ отъ Ферро, самаго южнаго изъ Канарскихъ острововъ. На морскихъ картахъ исходнымъ пунктомъ является обыкновенно Гриничская[1]) обсерваторія и морскіе хронометры идутъ по Гриничскому времени. Французы считаютъ меридіаны отъ Парижа[2]).

Въ большинствѣ культурныхъ государствъ въ настоящее время по международному соглашенію счетъ времени ведутъ по такъ называемому универсальному времени. Всѣ мѣста, лежащія между двумя меридіанами, удаленными одинъ отъ другого на 15^0, имѣютъ одно и то же время, именно время средняго меридіана соотвѣтствующаго пояса (Standard time). Поясъ, въ которомъ лежатъ Германія, Данія, Швеція, Австрія и т. д., простирается отъ $7^0\ 30'$ до $22^0\ 30'$ восточной долготы (отъ Гринича). Время средняго, слѣдовательно, 15^0-аго меридіана отличается отъ Гриничскаго времени (отъ $7^0\ 30'$ къ востоку до $7^0\ 30'$ къ западу отъ Гринича) на 1 часъ. Этотъ счетъ времени (средне-европейское время) былъ введенъ въ Германіи 1 апрѣля 1893 года.

Рис. 28



Земной шаръ съ 24 меридіанами.

Линію, идущую отъ Берингова пролива черезъ Тихій океанъ, выбрали за линію даты мѣсяца. Къ западу отъ этой линіи число мѣсяца на единицу больше, чѣмъ къ востоку отъ нея.

48 Гиппарху принадлежатъ также большія заслуги въ рѣшеніи трудной задачи черченія картъ, когда приходится имѣть дѣло съ большой частью земной поверхности.

Менѣе значительныя части земной поверхности можно принимать за плоскія и, слѣдовательно, ихъ можно изображать на плоскости. Но болѣе значительную часть земной поверхности нельзя нарисовать на плоскости безъ особыхъ условій. Еслибы даже часть шаровой поверхности была тонка и гибка, какъ бумага, то и тогда ее нельзя было бы разложить на плоскости. Она дастъ либо складки по срединѣ, либо разрывы на краяхъ.

Если разсматривать (рис. 29) сѣверное полушаріе неба $a\,e\,P\,q$ не изъ центра M, а изъ южнаго полюса неба S и вообразить себѣ плоскость, касательную къ небесной сферѣ въ сѣверномъ полюсѣ P, то прямая линія отъ S къ звѣздѣ α пересѣчетъ касательную плоскость въ точкѣ a, въ которой, слѣдовательно, и должна быть изображена звѣзда. И если глазъ находится какъ разъ въ точкѣ S, то впечатлѣніе у него будетъ одинаково, будетъ ли звѣзда находиться въ точкѣ α или въ точкѣ a.

Этотъ способъ проекціи, которымъ пользовался Гиппархъ и который изобрѣтенъ, вѣроятно, еще болѣе древними математиками, есть такъ называемая стереографическая проекція. Она, конечно, имѣетъ свои недостатки, какъ вообще всякій способъ рѣшенія невозможной самой по себѣ задачи—нарисовать шаровую поверхность на плоскости. Напримѣръ, кругъ $A\,E\,Q$ получаетъ въ ней вдвое большій діаметръ, чѣмъ $a\,e\,q$, тогда какъ тѣ части, которыя лежатъ вблизи P, увеличиваются незначительно.

Этотъ способъ особенно удобенъ, когда приходится изображать большую часть

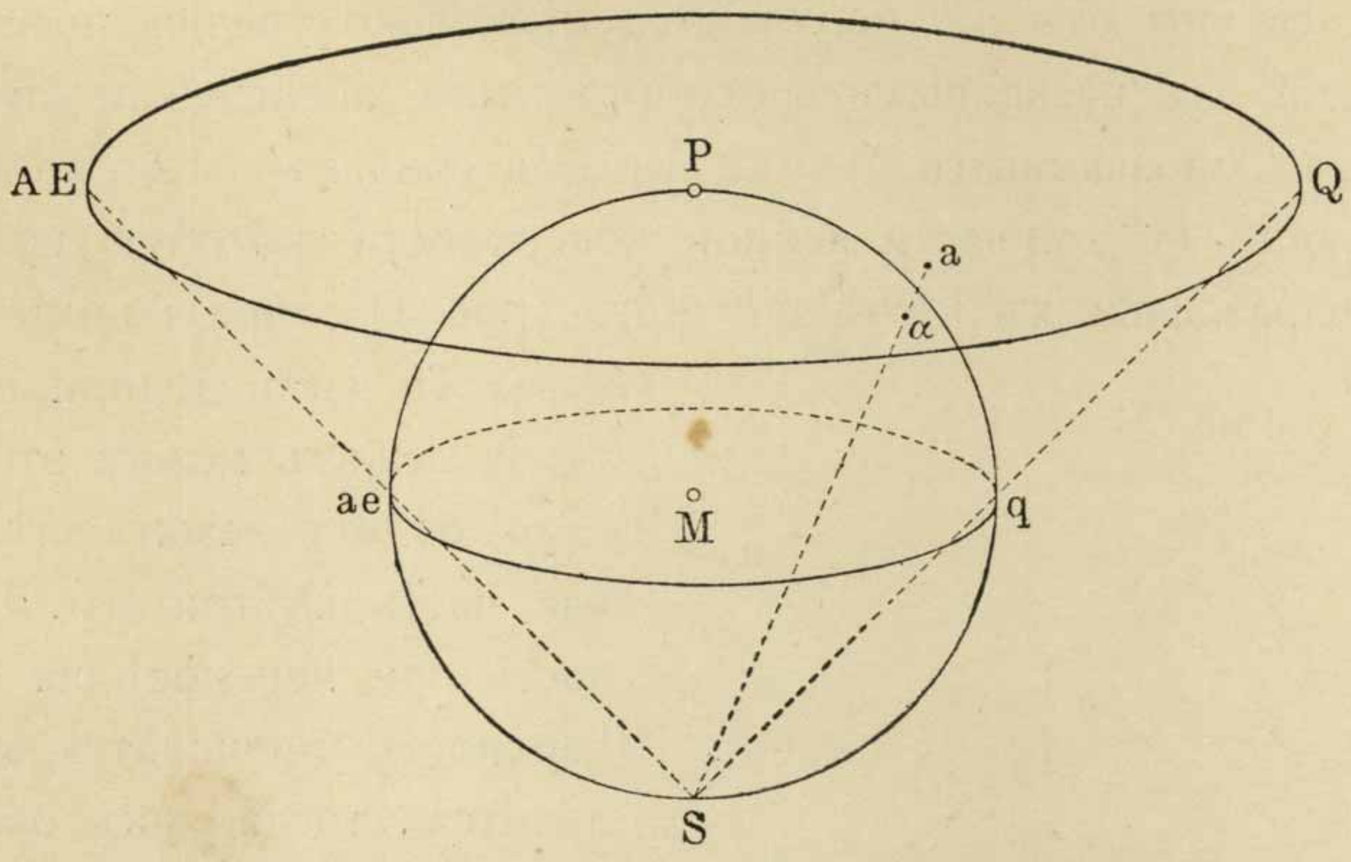
---

[1]) $17^0\ 39'\ 46''$ къ востоку отъ Ферро.
[2]) $20^0\ 30'$ къ востоку отъ Ферро.

http://mathesis.ru

шара. Эта часть можетъ даже превышать половину шара, но конечно въ этомъ случаѣ увеличеніе на краяхъ будетъ еще больше (ср. карту къ § 2). Этимъ способомъ проекціи пользуются также для изображенія восточнаго и западнаго (или сѣвернаго и южнаго) полушарій земли.

Рис. 29

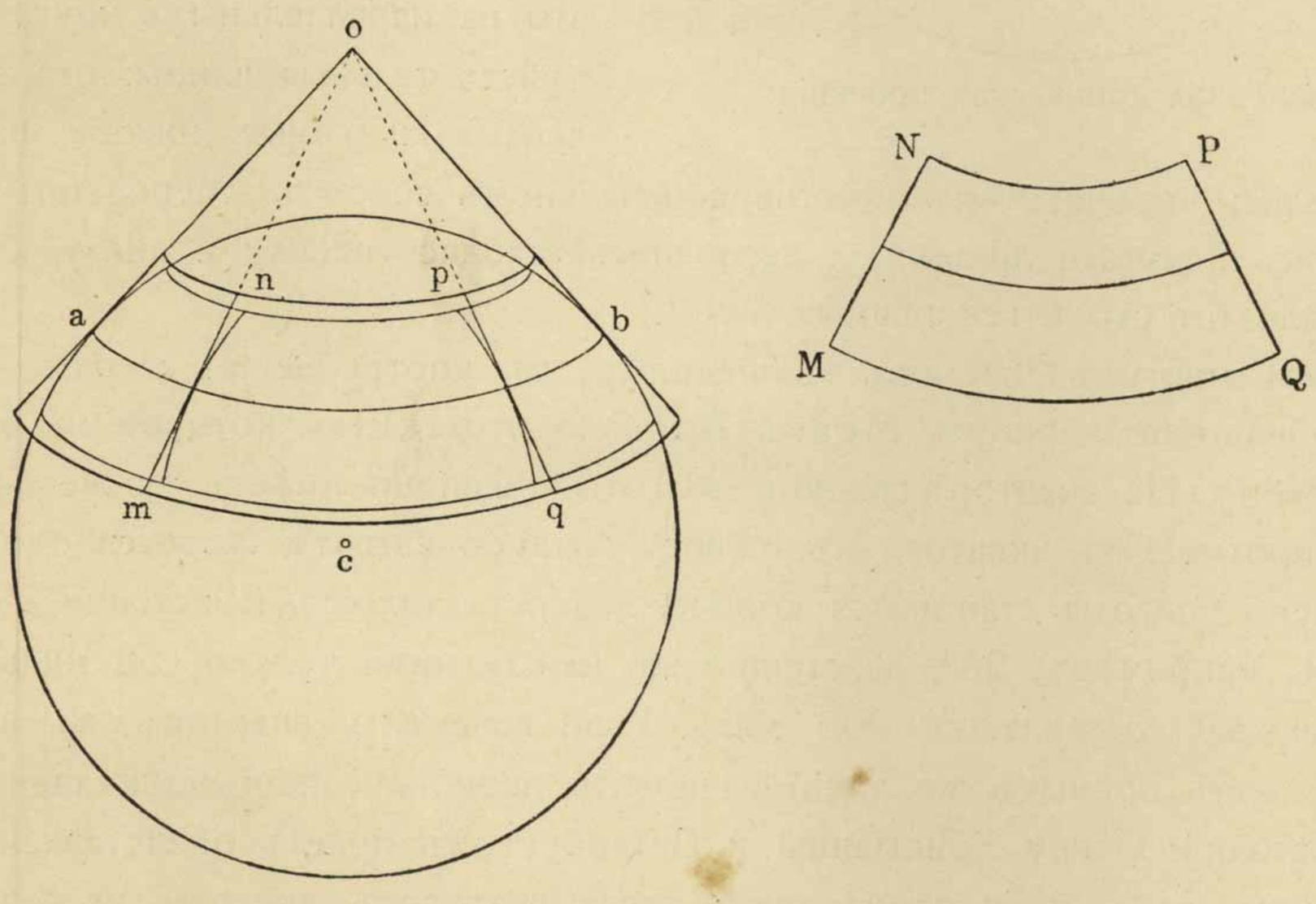


Стереографическая проекція шаровой поверхности.

49. Другой способъ проекціи, такъ называемая коническая проекція, былъ введенъ Птолемеемъ. Но онъ годится только для изображенія небольшихъ частей земной поверхности.

Пусть $a\,b$ (рис. 30) будетъ параллельный кругъ, проходящій черезъ средину той области, которую нужно изобразить. Вообразимъ себѣ конусъ, который имѣлъ бы

Рис. 30



Коническая проекція.

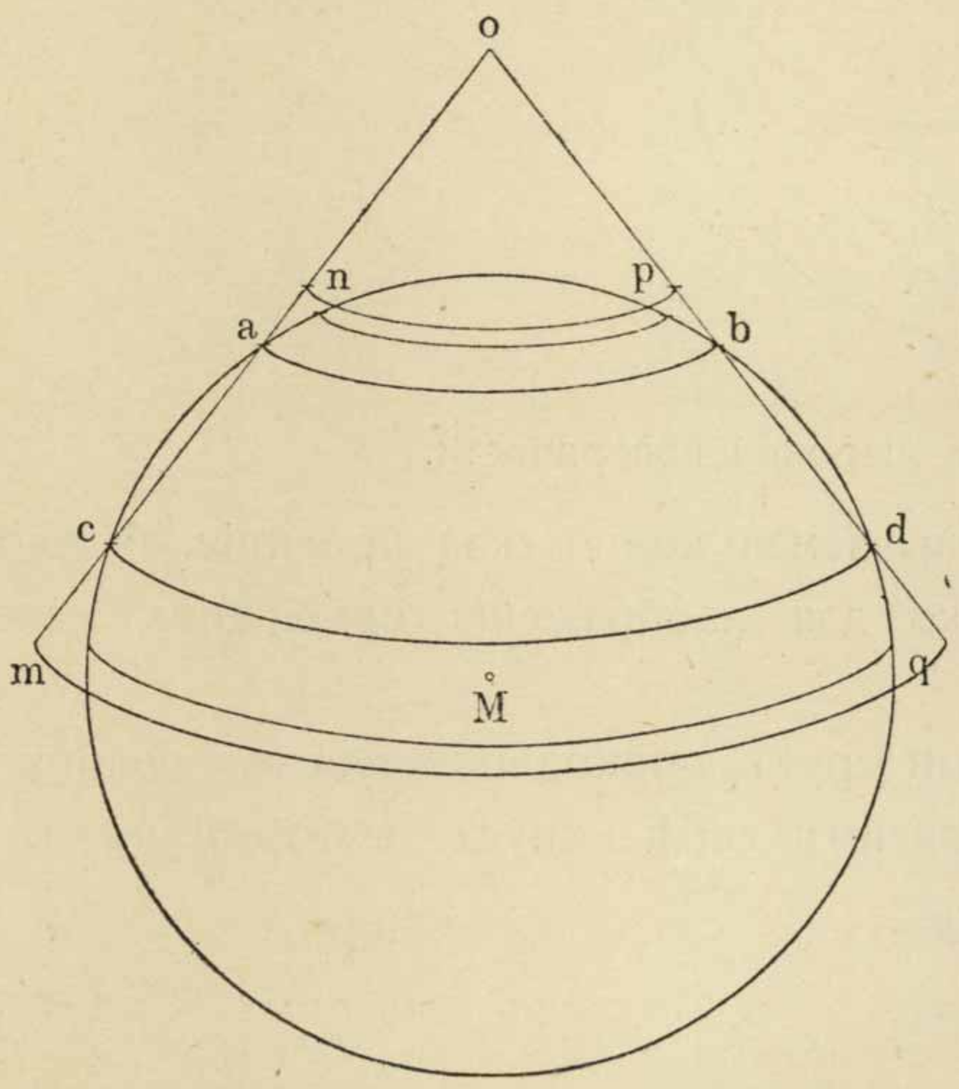
вершину на земной оси и касался бы шара по кругу $a\,b$. Затѣмъ вообразимъ себѣ точки шаровой поверхности перенесенными на коническую поверхность по прямымъ

http://mathesis.ru

линіямъ, идущимъ отъ центра c; тогда глазъ въ c полу́читъ отъ этой зоны конуса то же впечатлѣніе, что и отъ шаровой зоны. Затѣмъ разрѣжемъ конусъ вдоль $m\,n$ и развернемъ его на плоскости, что всегда возможно выполнить. Теперь мы получаемъ плоскую карту, на которой меридіаны изображены въ видѣ прямыхъ линій, сходящихся въ одной точкѣ на сѣверѣ, а параллельные круги въ видѣ дугъ круговъ съ центрами въ этой точкѣ. Области около $a\,b$ сохраняютъ свою естественную величину, а области къ сѣверу и къ югу отъ $a\,b$ получаются нѣсколько увеличенными.

50. Послѣдній изъ названныхъ способовъ былъ значительно улучшенъ Гергардомъ Кремеромъ, прозваннымъ Меркаторомъ (род. въ 1512 г. во Фландріи, ум. въ 1594 г. въ Дуисбургѣ). На той части земной поверхности, которую нужно изобразить, выбираются два параллельныхъ круга $a\,b$ и $c\,d$ (рис. 31); черезъ нихъ проводится конусъ. Та часть земной поверхности, которая лежитъ между этими двумя кругами, будетъ лежать внѣ конуса, остальная часть внутри его. Поэтому первая часть при переносѣ на коническую поверхность уменьшится, а послѣдняя увеличится, тогда какъ оба параллельные круга сохранятъ свою естественную величину.

Рис. 31



Улучшенная коническая проекція.

Если затѣмъ мы разрѣжемъ и развернемъ карту на плоскости, то меридіаны будутъ на ней прямыми линіями, а круги широтъ—дугами окружностей.

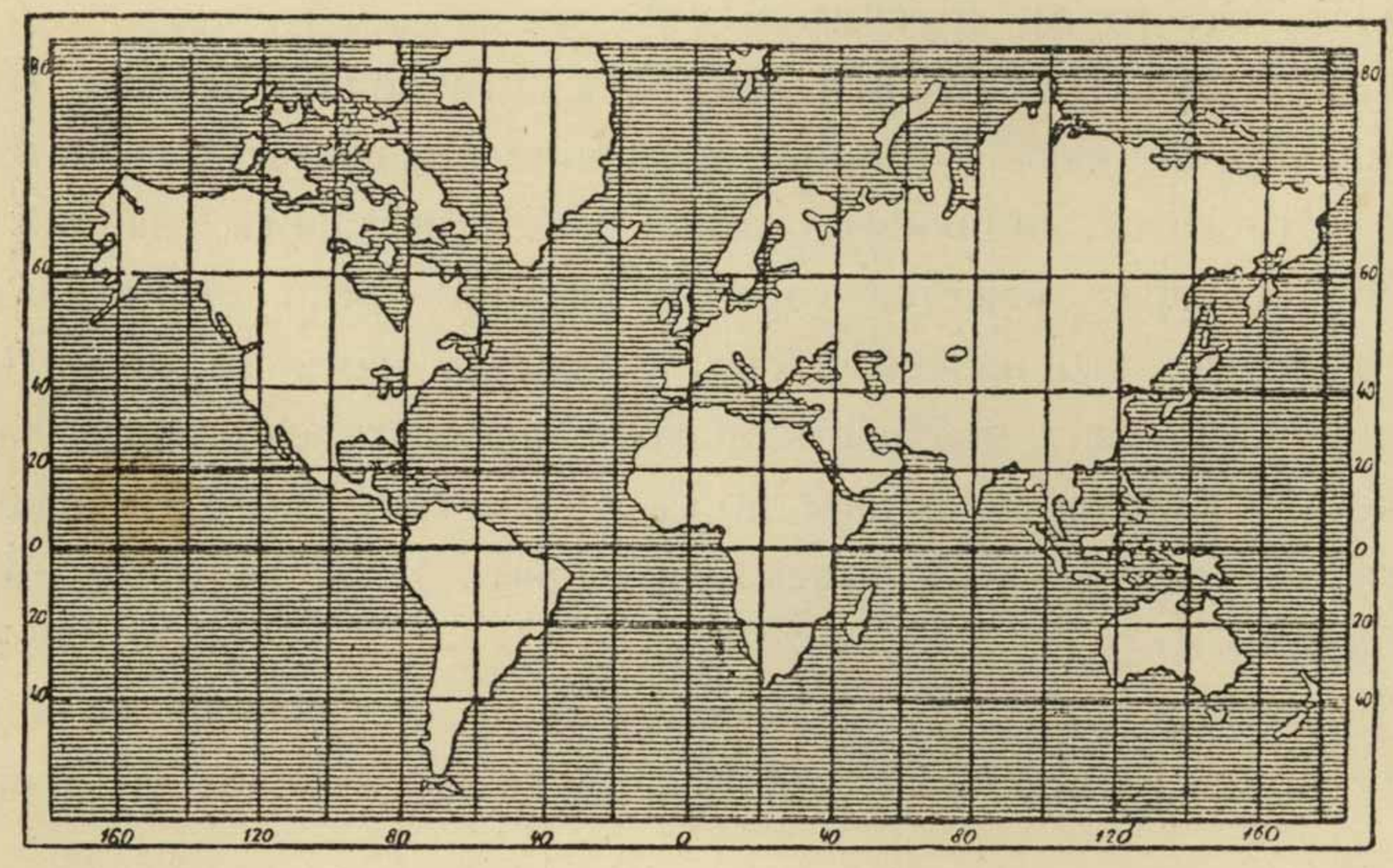
Въ XVIII столѣтіи въ этотъ способъ ввели измѣненіе въ томъ отношеніи, что на параллельныхъ кругахъ наносили дѣйствительныя длины; отъ этого самые верхніе и самые нижніе параллельные круги дѣлались короче, чѣмъ при первоначальномъ способѣ. Меридіаны теперь уже не оставались прямыми линіями, а изгибались, сходясь вверху и внизу ближе, чѣмъ должны были бы сходиться прямыя линіи.

51. Изъ многихъ пріемовъ, вошедшихъ въ употребленіе сверхъ указанныхъ, нужно особенно подчеркнуть Меркаторскую проекцію, которой мы обязаны также Г. Кремеру. На экваторѣ градусъ долготы очевидно имѣетъ ту же длину, какъ и градусъ широты. Отъ экватора къ полюсу градусъ широты остается однимъ и тѣмъ же, а градусъ долготы становится короче. Разность долготъ Христіаніи и Петербурга составляетъ, напримѣръ, 20^0, разстояніе же между ними только 150 миль, тогда какъ на экваторѣ 20^0 составляютъ 300 миль. Если начертить экваторъ въ видѣ прямой линіи и въ видѣ прямыхъ же линій начертить меридіаны перпендикулярно къ экватору, то разстояніе между Христіаніей и Петербургомъ будетъ представлено линіей такой же длины, какъ линія одинаковаго числа градусовъ долготы на экваторѣ. Такимъ образомъ разстояніе это было бы вдвое больше, чѣмъ оно должно быть, и страны въ этихъ частяхъ карты должны были бы совершенно искажаться, если не увеличить градусы широты въ томъ же отношеніи, въ какомъ увеличились градусы

http://mathesis.ru

долготы. Это и дѣлается Меркаторской проекціей, вслѣдствіе чего формы передаются въ ней правильно. Само собою разумѣется, что отдѣльныя части земной поверхности въ этой проекціи выходятъ тѣмъ больше, чѣмъ дальше онѣ отъ экватора. Но такъ какъ формы въ каждомъ отдѣльномъ мѣстѣ остаются правильными и такъ какъ линіи (берега, небесныя направленія) всюду идутъ правильно, то этотъ способъ проекціи очень удобенъ именно для морскихъ картъ, такъ какъ для нихъ весьма важно, чтобы каждый предметъ, напримѣръ, огонь маяка, былъ представленъ въ томъ направленіи, въ какомъ онъ дѣйствительно находится. Равнымъ образомъ эта проекція

Рис. 32



Поверхность земли въ Меркаторской проекціи.

очень удобна для изображенія всей поверхности земли (за исключеніемъ полярныхъ областей). Для сравненія размѣровъ различныхъ областей (Гренландія и Африка) такая карта конечно совершенно непригодна.

52. Послѣ Гиппарха астрономія стала падать, хотя временами и появлялись еще отдѣльные значительные ученые.

На томъ же Родосѣ работалъ въ I столѣтіи до Р. Х. астрономъ Посидоній, род. въ Апомеѣ (Сирія) около 103 г. до Р. Х. Нѣкоторое время онъ, повидимому, жилъ въ Римѣ и былъ въ дружбѣ съ Помпеемъ, котораго онъ принималъ раньше на Родосѣ, а также съ Цицерономъ, который излагаетъ астрономическія свѣдѣнія, вѣроятно, на основаніи того, что онъ зналъ отъ Посидонія.

Посидоній произвелъ нѣсколько тонкихъ измѣреній и долженъ былъ обладать хорошими инструментами (можетъ быть, инструментами Гиппарха). Его опредѣленіе окружности земли по измѣреніямъ меридіанной высоты одной звѣзды на Родосѣ и въ Александріи безупречны (180 000 стадій). Для разстоянія луны онъ очень правильно нашелъ 2 000 000 стадій (§ 32), а для разстоянія солнца 12—13 милліоновъ миль. Дѣйствительное разстояніе послѣдняго составляетъ около 20 милліоновъ миль. Но въ сравненіи съ болѣе ранними измѣреніями это превосходно. Къ сожалѣнію, мы не знаемъ, какимъ путемъ Посидоній пришелъ къ этому результату. Не исключена такимъ образомъ возможность, что точность полученной имъ величины была случайная или что число его было измѣнено вслѣдствіе ошибки при списываніи.

http://mathesis.ru

Достовѣрно то, что Посидонію было извѣстно, какъ незначительна земля въ сравненіи съ солнцемъ. Онъ думалъ, что съ солнца она должна казаться точкой, а съ неподвижныхъ звѣздъ должна быть вовсе невидима, будь она даже самосвѣтящаяся.

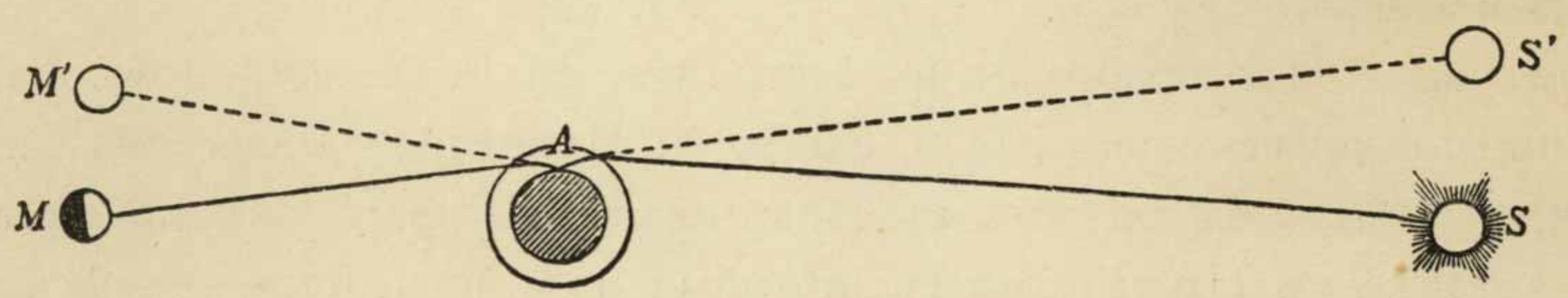
Странное впечатлѣніе, на ряду съ этими правильными свѣдѣніями, производитъ мнѣніе Посидонія, что земля, хотя и представляетъ собою шаръ, но неподвижна. Она покоится въ центрѣ, а все остальное движется. Это мнѣніе представляетъ собою шагъ назадъ. Но мы находимъ у него также и нѣсколько новыхъ наблюденій, напримѣръ, что приливы и отливы производятся луною, потому что они бываютъ сильнѣе всего во время полнолуній и новолуній. Такъ какъ послѣднее наблюденіе невозможно произвести на берегахъ Средиземнаго моря, то объ этомъ явленіи Посидоній долженъ былъ узнать гдѣ-то въ другомъ мѣстѣ.

Равнымъ образомъ Посидоній замѣтилъ, что солнце и луна вблизи горизонта кажутся больше, тогда какъ угловое измѣреніе показываетъ, что ихъ величина не мѣняется. Это относится, впрочемъ, также къ созвѣздіямъ, напримѣръ, къ Большой Медвѣдицѣ, которая кажется гораздо меньше, когда стоитъ высоко. Причина этого лежитъ въ томъ, что небесный сводъ кажется намъ не правильнымъ полушаромъ, а сплющеннымъ, такъ что часть, находящаяся отвѣсно надъ нами, ближе къ намъ, чѣмъ части у горизонта; а изъ двухъ предметовъ, которые видны намъ подъ однимъ и тѣмъ же угломъ, мы считаемъ бо́льшимъ тотъ, который почему-либо считаемъ болѣе далекимъ.

53. Въ I столѣтіи по Р. Х. жилъ Клеомедъ, передавшій большую часть того, что намъ извѣстно о Посидоніи. Самъ онъ также пытался объяснить одно замѣчательное явленіе.

Клеомедъ пишетъ, что онъ сначала не хотѣлъ вѣрить, чтобы можно было видѣть на небѣ затмившуюся полную луну раньше захода солнца. Клеомедъ зналъ, конечно, что лунное затменіе (рис. 33) наступаетъ, когда солнце, земля и луна лежатъ на одной прямой линіи. Между тѣмъ, если на небѣ одновременно видны и

Рис. 33



Лунное затменіе вблизи горизонта.

солнце и луна, то соединяющая ихъ прямая должна проходить выше насъ и земля не можетъ находиться по срединѣ между ними.

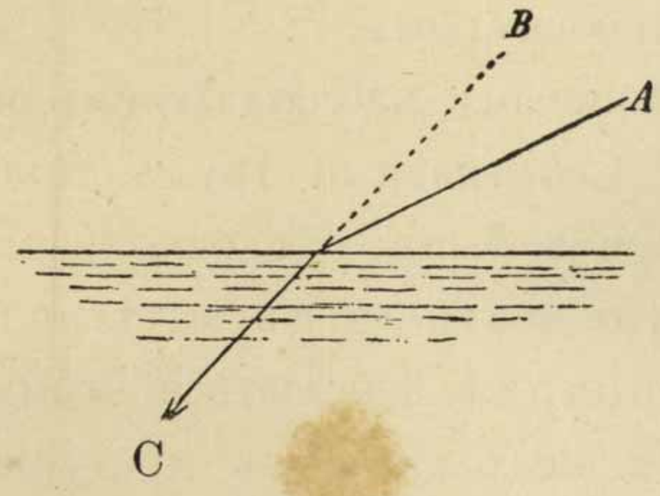
Убѣдившись, однако, въ томъ, что такое явленіе дѣйствительно наблюдалось, Клеомедъ сталъ искать для него объясненія. „Не плавало ли надъ землею какое-нибудь высокое облако, бросавшее свою тѣнь на луну?“ Это было невѣроятно, такъ какъ согласно Посидонію воздухъ имѣетъ только 9 миль высоты. Или „не было ли это не настоящее солнце, а какое-то ложное?“ Или наконецъ „не идутъ ли, можетъ быть, лучи свѣта въ болѣе глубокихъ слояхъ воздуха не по прямой линіи?“

Можетъ быть, это обстоятельство и заставило Клеомеда особенно заняться изу-

http://mathesis.ru

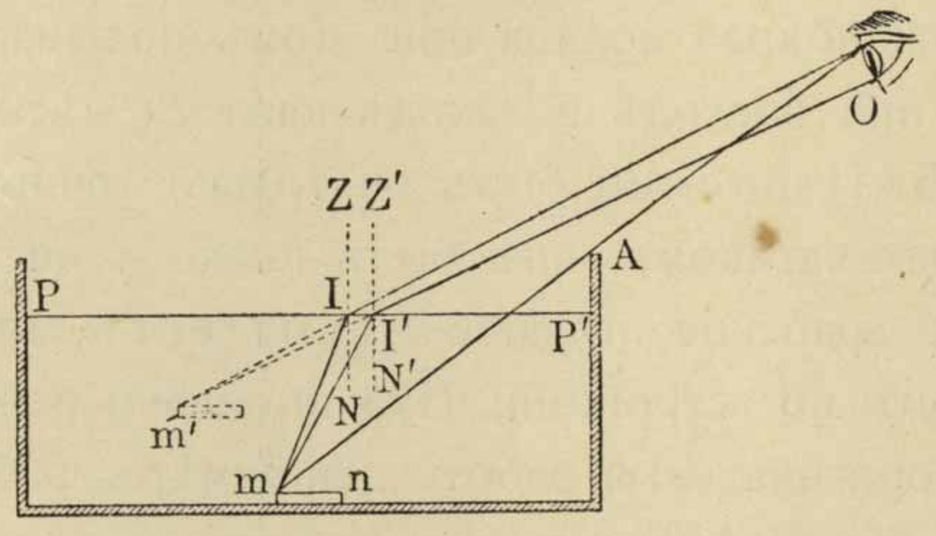
ченіемъ свѣта, о которомъ онъ много писалъ. Такъ, онъ говоритъ, что свѣтовой лучъ, входя въ болѣе плотную среду, напримѣръ, въ воду, по косому направленію, уклоняется въ этой средѣ ближе къ отвѣсному направленію, тогда какъ при обратномъ переходѣ онъ уклоняется наружу. Лучъ, идущій отъ A (рис. 34), въ водѣ идетъ по направленію къ C, и тѣмъ же путемъ лучъ идетъ изъ C въ A. Поэтому можно, продолжаетъ Клеомедъ, стать такъ, что глазъ (рис. 35) не можетъ видѣть монету въ кубкѣ, такъ какъ она закрыта стѣнкой кубка; но если налить въ кубокъ воды, она будетъ видна. Именно, свѣтъ идетъ тогда указаннымъ на рисункѣ путемъ. Глазъ

Рис. 34



Преломленіе свѣтового луча въ водѣ.

Рис. 35



Преломленіе свѣта при переходѣ изъ воды въ воздухъ.

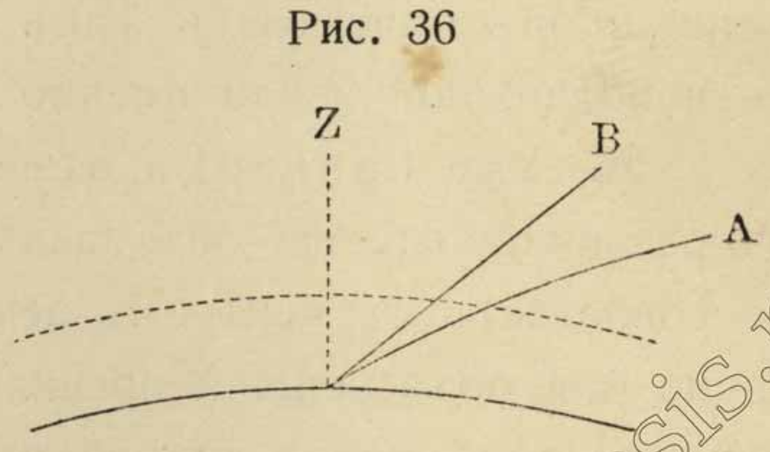
получаетъ впечатлѣніе только о томъ направленіи, по которому онъ получаетъ свѣтъ, и замѣчаетъ монету въ точкѣ m'.

Такимъ же образомъ, добавляетъ онъ, можно вслѣдствіе преломленія лучей видѣть солнце, уже зашедшее за горизонтъ (рис. 33).

54. Однако, эти соображенія были основательно разработаны только Клавдіемъ Птолемеемъ, родившимся въ 70 или 77 г. по Р. Х. въ Птолемаидѣ (Египетъ) и умершимъ въ 147 г. въ Александріи, гдѣ онъ производилъ свои наблюденія и писалъ свои работы.

Птолемей изучалъ законы распространенія свѣтовыхъ лучей особенно тщательно. Здѣсь нужно только отмѣтить, что онъ зналъ, что воздухъ, который по его мнѣнію распространялся до луны, долженъ оказывать на свѣтовые лучи такое же дѣйствіе, какъ вода. Такъ же, какъ вертикальная палка не обнаруживаетъ въ водѣ никакого „преломленія“, и находящаяся въ зенитѣ звѣзда должна казаться тамъ, гдѣ она дѣйствительно находится. Но всѣ другія звѣзды должны казаться выше, чѣмъ онѣ есть на самомъ дѣлѣ. Дѣйствительно, если путь свѣтового луча таковъ, какъ указываетъ линія, идущая отъ A (рис. 36), то глазъ долженъ получать впечатлѣніе, будто звѣзда находится въ направленіи B. Это отклоненіе должно быть тѣмъ больше, чѣмъ ближе звѣзда къ горизонту; Птолемей опредѣлялъ величину этого отклоненія при помощи измѣреній полярнаго разстоянія незаходящихъ звѣздъ, когда онѣ достигаютъ на небѣ наибольшей и наименьшей высоты. Въ первомъ случаѣ онѣ удаляются отъ полюса больше, чѣмъ во второмъ.

Рис. 36



Преломленіе лучей въ атмосферѣ.

http://mathesis.ru

Птолемей составилъ также таблицы, при помощи которыхъ позднѣе онъ могъ поправлять свои наблюденія звѣздъ. Для звѣзды

на высотѣ 90^0 надъ горизонтомъ отклоненіе составляетъ 0
60^0 „ „ „ „ $^1/_2{}'$
30^0 „ „ „ „ $1^2/_3{}'$
0^0 „ „ „ „ $35'$.

Отсюда видно, что это отклоненіе только близъ горизонта настолько велико, что его нужно было принимать въ разсчетъ при наблюденіяхъ древнихъ. Равнымъ образомъ отсюда видно, что солнце, поперечникъ котораго равенъ приблизительно $30'$, можетъ совершенно зайти и всетаки быть видимымъ надъ горизонтомъ. Такъ какъ нижній край солнца при этомъ подымается нѣсколько больше, чѣмъ верхній, то солнце при восходѣ и заходѣ кажется нѣсколько сплюснутымъ.

55. Птолемей былъ не только точнымъ, вдумчивымъ наблюдателемъ и искуснымъ математикомъ, онъ былъ также и писателемъ. Его главный трудъ, получившій позднѣе арабское названіе Альмагестъ, въ свое время былъ превосходнымъ руководствомъ по астрономіи. Нужно однако пожалѣть, что этотъ трудъ вытѣснилъ болѣе раннія оригинальныя работы, напримѣръ, работы Гиппарха. Удивляться этому однако нельзя. До изобрѣтенія книгопечатанія изданіе книгъ не было такъ доступно, какъ впослѣдствіи, и потому каждый естественно старался копировать, главнымъ образомъ, новѣйшія и лучшія сочиненія, какія были. Такъ какъ Альмагестъ содержитъ многое изъ того, что открыли предшествующіе астрономы, напримѣръ, превосходный звѣздный каталогъ Гиппарха (впрочемъ съ тѣми поправками, которыя по мнѣнію Птолемея нужно было прибавить за прецессію со времени Гиппарха), то иногда, особенно прежде, Птолемея ошибочно считали авторомъ всего содержанія его книги; съ другой же стороны, особенно въ болѣе позднее время, его называли нечестнымъ переписчикомъ. Послѣднее столь же несправедливо, насколько первое невѣрно. Но изъ сказаннаго понятно, почему міровоззрѣніе, къ которому склонялся лично Птолемей, господствовало почти безгранично болѣе полуторы тысячи лѣтъ, тогда какъ геніальныя мысли Аристарха о вращеніи земли вокругъ оси и ея движеніи около солнца пришли въ совершенное забвеніе.

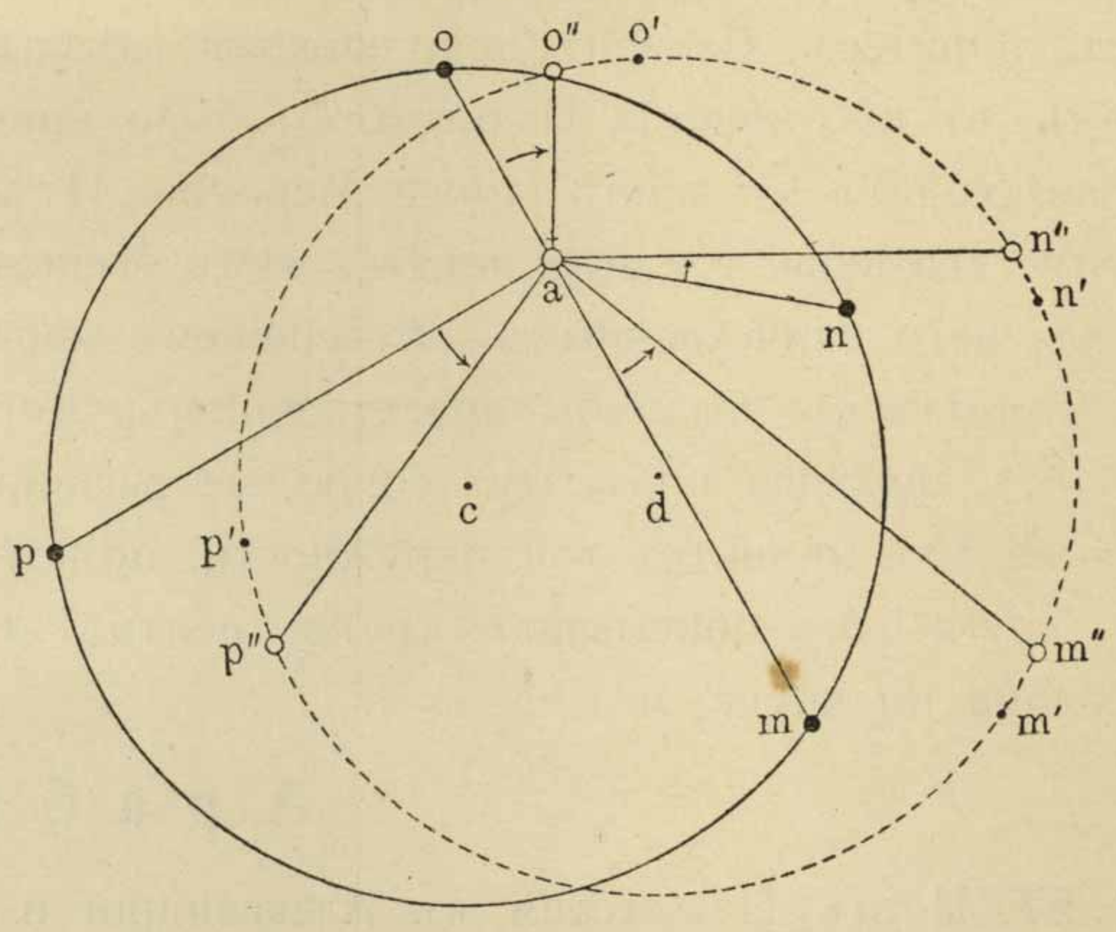
Птолемей былъ чрезвычайно осторожный ученый, который придерживался просто того, что онъ могъ видѣть. Онъ не разъ указывалъ на возможность того, что движется именно земля. Но по внѣшности вращается звѣздное небо и потому онъ принимаетъ, что вращается именно оно. Солнце, луна и планеты имѣютъ особыя движенія и онъ описываетъ, какъ они должны двигаться, чтобы ихъ движеніе казалось съ неподвижной земли именно такимъ, какимъ мы его видимъ на самомъ дѣлѣ.

56. Уже Гиппархъ нашелъ, что разстояніе луны отъ земли въ разныя времена различно; отсюда онъ заключилъ, что луна движется по кругу, центръ котораго не совпадаетъ съ центромъ земли. Птолемей нашелъ, что этого допущенія недостаточно для объясненія неправильностей луннаго движенія. Вслѣдствіе этого онъ принимаетъ, что центръ лунной орбиты самъ движется около центра земли. Такимъ образомъ луна движется по кругу, самый центръ котораго описываетъ опять-таки кругъ. Подобнымъ же образомъ Птолемей объяснялъ движеніе планетъ, но и это не было совершенной новостью. Задолго до Птолемея знаменитый математикъ Эвдоксъ изъ Книда (407—354 гг. до Р. Х.) предлагалъ это объясненіе для прямого и обратнаго

http://mathesis.ru

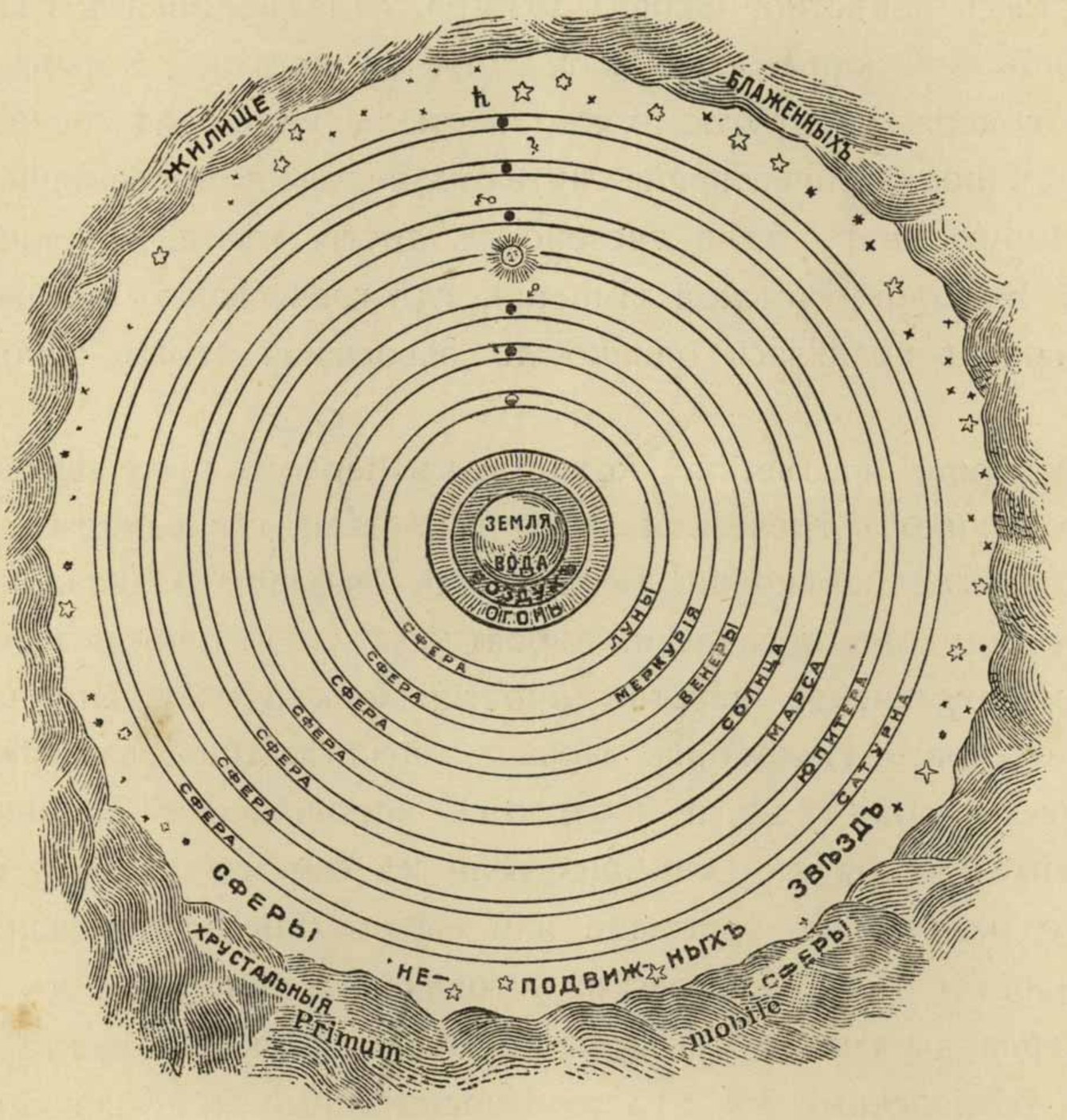
движеній и для стояній планетъ. Пусть точка a (рис. 37) представляетъ землю, которую мы предполагаемъ неподвижной. Пусть центръ круга, который долженъ представлять орбиту Марса, движется въ теченіе мѣсяца отъ c до d. Пусть пунктирный кругъ представляетъ орбиту Марса въ концѣ этого мѣсяца. Если теперь Марсъ находится въ точкѣ m, то черезъ мѣсяцъ вслѣдствіе движенія всего круга эта точка перемѣстится въ m'. Но за мѣсяцъ и самъ Марсъ передвинется изъ m' въ m''. Такимъ образомъ линія зрѣнія на Марсъ за этотъ мѣсяцъ перейдетъ изъ $a\,m$ въ $a\,m''$ (въ направленіи стрѣлки). Если Марсъ находится въ точкѣ n, то такимъ же образомъ эта линія зрѣнія въ теченіе мѣсяца перейдетъ изъ $a\,n$ въ $a\,n''$. Если, напротивъ того, Марсъ находится въ o, то смѣщеніе круга перемѣститъ эту точку въ o', а Марсъ за это время перейдетъ изъ o' въ o''. Значитъ линія зрѣнія съ земли на Марсъ отойдетъ обратнымъ движеніемъ отъ $a\,o$ къ $a\,o''$. При дальнѣйшемъ движеніи по своему пути Марсъ снова пойдетъ прямымъ движеніемъ отъ $a\,p$ въ $a\,p''$. А если объясняются прямое и обратное дви-

Рис. 37



Объясненіе планетныхъ движеній при помощи теоріи эпицикловъ.

Рис. 38



Птолемеева система міра.

отъ $a\,o$ къ $a\,o''$. При дальнѣйшемъ движеніи по своему пути Марсъ снова пойдетъ прямымъ движеніемъ отъ $a\,p$ въ $a\,p''$. А если объясняются прямое и обратное дви-

http://mathesis.ru

женія Марса, то, само собою разумѣется, объясняются и его стоянія. Именно, они происходятъ въ то время, когда одно движеніе переходитъ въ другое. Птолемей развилъ это объясненіе до конца. При этомъ онъ принялъ, что эти тѣла расположены въ слѣдующемъ порядкѣ, считая отъ земли: Луна, Меркурій, Венера, Солнце, Марсъ, Юпитеръ, Сатурнъ, неподвижныя звѣзды. Въ одной болѣе древней египетской системѣ, въ противность Птолемею, было принято совершенно правильно, что Венера подходитъ къ землѣ ближе Меркурія. Птолемей самъ говоритъ о своей теоріи, что эти движенія труднѣе понять, чѣмъ вычислить. Тѣмъ не менѣе эта теорія является для него единственнымъ объясненіемъ небесныхъ движеній, чѣмъ-то такимъ, въ чемъ сомнѣваться было бы преступленіемъ. Когда впослѣдствіи не удавалось подогнать всѣ движенія подъ эту теорію, ее расширяли и принимали, что по кругу движется не только центръ той окружности, по которой движется планета, но что центръ этого круга самъ описываетъ кругъ, центръ котораго въ свою очередь двигается опять-таки по кругу, и т. д.

Арабы

57. Послѣ Птолемея въ Александріи и въ другихъ греческихъ городахъ не было больше крупныхъ астрономовъ; были только отдѣльные естествоиспытатели, о которыхъ рѣчь будетъ ниже. Въ концѣ концовъ наука утратила ту твердую почву, на которой она стояла много лѣтъ въ Александріи. Это случилось въ VII вѣкѣ, когда магометане, въ первые 150 лѣтъ послѣ Магомета выступавшіе главнымъ образомъ въ роли завоевателей, вошли въ городъ и уничтожили послѣдніе остатки двухъ громадныхъ библіотекъ. Какъ извѣстно, калифъ Омаръ отдалъ приказъ сжечь книги въ такихъ словахъ: „Либо эти книги содержатъ то, что есть въ Коранѣ, и тогда онѣ лишнія, либо онѣ содержатъ другое и въ такомъ случаѣ онѣ безбожныя“. Этотъ разсказъ, однако, въ позднѣйшее время считаютъ не очень достовѣрнымъ; не лишено вѣроятности, что много книгъ было увезено въ другія мѣста, особенно въ Константинополь, столицу Восточно-Римской Имперіи, гдѣ греческая культура, хотя и не въ цвѣтущемъ состояніи, сохранялась однако до завоеванія этого города турками въ 1453 году.

И однако тѣ самые магометане, которые въ первомъ пылу завоеванія уничтожили такъ много памятниковъ греческой культуры, стали связующимъ звеномъ между древней культурой и средневѣковой. Безъ этого связующаго звена наши свѣдѣнія о культурной жизни народовъ древности, вѣроятно, были бы чрезвычайно ничтожны.

Громадное магометанское царство простиралось отъ Испаніи чрезъ Сѣверную Африку и Азію до самаго Индостана. Правда, позднѣе оно раздробилось, но могущественные калифы въ Багдадѣ и Кордовѣ впродолженіе длиннаго ряда годовъ оставались покровителями наукъ. Они призывали къ своимъ дворамъ ученыхъ безразлично, были ли то магометане, христіане или евреи, они основывали въ различныхъ мѣстахъ своихъ царствъ высшія школы и устраивали библіотеки, въ которыхъ собирались копіи и переводы греческихъ трудовъ. Изъ нихъ Абдалла Аль Мамунъ, бывшій калифомъ багдадскимъ въ 813 г. и воспитанный христіанскимъ врачемъ-грекомъ, такъ любилъ науку, что при заключеніи мира съ побѣжденнымъ имъ Византійскимъ императоромъ Михаиломъ II потребовалъ себѣ копіи всѣхъ греческихъ книгъ.

http://mathesis.ru

Въ X вѣкѣ въ Испаніи процвѣтала Кордова, резиденція калифовъ. Этотъ городъ имѣлъ высшую школу, которая посѣщалась молодежью христіанской Европы, и библіотеку съ 600 000 томовъ, которая, къ сожалѣнію, была сожжена по приказанію кардинала Хименеса, когда Фердинандъ Святой завоевалъ этотъ городъ въ 1236 г. Въ теченіе нѣсколькихъ столѣтій Кордова была центромъ Европы въ отношеніи науки, искусства (архитектуры) и поэзіи. Мавританская Испанія имѣла въ XII вѣкѣ 14 высшихъ школъ и 70 общественныхъ библіотекъ. У мавровъ прекрасно процвѣтали въ то же время сельское хозяйство, садоводство, горное дѣло и торговля.

Между магометанами не было недостатка въ оригинальныхъ писателяхъ, но выдающихся умовъ, отмѣчающихъ поворотные пункты въ исторіи науки, у нихъ не появилось. Самой важной связью научныхъ стремленій въ отдѣльныхъ центрахъ былъ интересъ къ наукѣ со стороны самихъ калифовъ и ихъ терпимость по отношенію къ иновѣрцамъ. Однако, хотя нѣкоторые калифы стремились распространить плоды наукъ въ народѣ при помощи школъ (въ Кордовѣ въ X вѣкѣ было 80 безплатныхъ школъ) и библіотекъ, но, въ сравненіи съ затраченнымъ трудомъ, они достигли только незначительнаго успѣха.

Народъ не былъ тогда еще подготовленъ къ этому; а тамъ, гдѣ народная масса не представляетъ, такъ сказать, широкаго поля, каждый клочокъ котораго можетъ выростить хорошіе всходы, тамъ конечно просвѣтительная дѣятельность калифовъ могла имѣть свое значеніе въ смыслѣ передачи накопленныхъ знаній и въ смыслѣ извѣстнаго внѣшняго блеска, но плодотворной въ болѣе высокой степени она не могла быть. Ради исторической связи поэтому нужно упомянуть о магометанскомъ періодѣ; къ этому можно прибавить, что у арабовъ были искусные астрономы, дѣятельность которыхъ была направлена на опредѣленіе величины земли[1]), положеній небесныхъ тѣлъ, длины года, наклона эклиптики и пр. Однако, такъ какъ эти измѣренія едвали производились лучше, чѣмъ болѣе древнія измѣренія грековъ, то намъ незачѣмъ останавливаться на этихъ попыткахъ.

Посредничество арабовъ между древностью и средними вѣками, а также между Восточной Азіей и Европой оставило ясные слѣды въ рядѣ названій, которыми мы пользуемся еще и нынче, какъ, напримѣръ, зенитъ, надиръ, Альдебаранъ (звѣзда въ Тельцѣ), Алькоръ и Мизаръ (въ Большой Медвѣдицѣ), алидада (приспособленіе для отсчета угловъ въ измѣрительныхъ инструментахъ). Какъ посредники между востокомъ и западомъ, они принесли намъ отъ китайцевъ компасъ и селитру, отъ индусовъ ихъ систему счисленія и вычисленія при помощи буквъ, извѣстныя намъ подъ именемъ „арабскихъ цифръ“ и алгебры.

---

[1]) Упомянутый выше Аль Мамунъ приказалъ, напримѣръ, произвести градусное измѣреніе въ Месопотаміи. Одна изъ двухъ экспедицій должна была измѣрить одинъ градусъ на сѣверѣ, другая одинъ градусъ на югѣ. Первая нашла для длины градуса 56, вторая $56^2/_3$ арабскихъ миль. Недовольный этимъ, Аль Мамунъ приказалъ повторить измѣреніе, но результатъ получился тотъ же самый. Которое изъ измѣреній было лучше, мы не можемъ рѣшить, такъ какъ намъ только извѣстно, что арабская миля равна 4000 локтей, но неизвѣстно, были ли это царскіе локти или черные локти. Первые имѣли 24, послѣдніе 27 дюймовъ. Дюймъ имѣлъ длину 6 зеренъ ржи, положенныхъ бокъ о бокъ. Такъ какъ по этому измѣренію сѣверный градусъ былъ короче южнаго, то результатъ этого измѣренія въ XVII столѣтіи—къ сожалѣнію, ошибочно—принимался въ разсчетъ въ вопросѣ объ истинной формѣ земли.

http://maabesi.ru

Зарожденіе астрономіи въ Западной Европѣ

58. Впродолженіе арабскаго періода европейскіе народы обнаруживали лишь незначительный интересъ къ наукамъ. Карлъ Великій сдѣлалъ попытку призвать къ жизни при своемъ дворѣ учрежденія, подобныя тѣмъ, которыя устраивали калифы. Онъ призвалъ къ своему двору ученаго Алькуина (род. въ 736 г. въ Нортгёмберландѣ) и приказалъ устроить школы при монастыряхъ. Но непосредственно его стремленія не имѣли большого успѣха.

Далѣе покровителями наукъ называютъ императора Фридриха II Гогенштауфена (ум. 1250) и короля Альфонса X Кастильскаго (ум. 1284). Послѣдній поручилъ коммиссіи, въ составъ которой входили кромѣ христіанскихъ также еврейскіе и магометанскіе ученые, вычислить улучшенныя астрономическія таблицы, такъ какъ таблицы Птолемея были уже не удовлетворительны. Такъ какъ работа этой коммиссіи также не дала удовлетворительныхъ результатовъ, то король приказалъ повторить вычисленія еще разъ, не получивъ однако лучшаго результата и на этотъ разъ. Какъ понималъ король Альфонсъ несовершенство наукъ, видно изъ одной фразы, которую онъ какъ-то сказалъ своимъ астрономамъ. Послѣ того, какъ они объяснили ему движеніе небесныхъ тѣлъ по улучшенной теоріи Птолемея, онъ выразилъ мнѣніе, что еслибы Богъ призвалъ его на совѣтъ при сотвореніи міра, то все было бы устроено проще. Это слово упало впрочемъ на опасную почву и позднѣе навлекло на него упрекъ въ оскорбленіи божества.

Замѣчательно, что всѣ названные государи были въ дружественныхъ или по крайней мѣрѣ въ мирныхъ отношеніяхъ съ магометанами.

59. Молодежь Европы не могла найти удовлетворенія въ той духовной пустынѣ, которая царила въ ея родныхъ странахъ. Поэтому многіе направлялись въ Испанію изучать науки у мавровъ. Но на это не особенно благосклонно смотрѣла церковь и такъ какъ однимъ изъ древнихъ писателей, котораго по преимуществу изучали въ Испаніи, былъ Аристотель, то его сочиненія до XII столѣтія подвергались обвиненію въ ереси и даже сжигались, а его послѣдователи отлучались отъ церкви.

Наконецъ, пришлось прибѣгнуть къ единственному средству, которое могло остановить это теченіе: около 1200 года начали основывать высшія школы, „университеты“ въ различныхъ городахъ Европы: въ Парижѣ, Оксфордѣ, Кэмбриджѣ, Неаполѣ, Салерно, Болоньѣ, Падуѣ, Павіи и т. д. Но конечно нужно было имѣть также и предметы обученія, а такъ какъ иного выхода не было, то пришлось обратиться къ тѣмъ самымъ предметамъ, которые подвергались осужденію, пока ихъ можно было находить только у мавровъ. Теперь стали сравнивать міровоззрѣніе Аристотеля съ Библіей и стали находить, что ихъ во всемъ можно согласовать другъ съ другомъ, въ крайнемъ случаѣ при помощи извѣстныхъ толкованій ихъ текстовъ. Сочиненія Аристотеля теперь не только терпѣлись, но даже стали руководствомъ въ вопросахъ изслѣдованія природы. Что говорилъ Аристотель, то и было правильно, не больше и не меньше. Вслѣдствіе этого Аристотель, взгляды котораго на многіе физическіе вопросы были совершенно ложны, сталъ даже препятствіемъ для дальнѣйшихъ изслѣдованій. Въ теченіе слѣдующихъ столѣтій многимъ ученымъ пришлось страдать подъ этимъ духовнымъ игомъ и бороться противъ него, пока наконецъ не удалось сбросить это ярмо.

http://mathesis.ru

60. Къ счастью оказалось, что европейская почва была такъ же благопріятна для процвѣтанія наукъ, какъ и магометанская. Впрочемъ, еще нѣсколько столѣтій протекло до того времени, какъ науки нѣсколько укоренились, и въ теченіе еще нѣсколькихъ вѣковъ даже люди, серьезно занимавшіеся наукой, путались въ астрологическихъ и мистическихъ представленіяхъ. Замѣчательно, что именно магометанамъ было суждено—правда, совершенно непроизвольно,—дать толчекъ къ дальнѣйшему развитію наукъ въ Европѣ. Когда въ 1453 г. турки завоевали Константинополь, множество греческихъ учителей лишилось родины. Большею частью они направлялись въ Италію и здѣсь находили условія, которыя позволяли имъ продолжать работу, прерванную ихъ предками. Потому-то именно въ Италіи и началось Возрожденіе наукъ.

61. Очень естественно поэтому, что величайшему астроному и математику XV столѣтія, Регіомонтану пришлось быть въ ученіи у греческихъ бѣглецовъ въ Италіи.

Регіомонтанъ, настоящее имя котораго было Іоганнъ Мюллеръ, родился въ 1436 г. въ Кенигсбергѣ, во Франконіи. Онъ развился необычайно рано и въ возрастѣ отъ 12 до 15 лѣтъ учился въ Лейпцигѣ, а затѣмъ въ Вѣнѣ; здѣсь онъ былъ ученикомъ извѣстнаго астронома Пурбаха, который снова обратился къ уче-

Рис. 39



Регіомонтанъ.

нію о вращеніи земли, такъ какъ его не удовлетворяла система Птолемея. Папскій легатъ въ Вѣнѣ пригласилъ Пурбаха ѣхать съ нимъ въ Римъ, чтобы тамъ изучать греческій оригиналъ Альмагеста. Однако, прежде чѣмъ этотъ планъ былъ выполненъ, Пурбахъ умеръ (въ 1461 году). Тогда то же предложеніе было сдѣлано Регіомонтану, который принялъ его. У одного греческаго бѣглеца, Георга изъ Трапезунда, онъ научился греческому языку и сталъ изучать Птолемея и другихъ греческихъ писателей на ихъ родномъ языкѣ.

http://mathesis.ru

По возвращеніи онъ недолгое время былъ профессоромъ астрономіи въ Вѣнѣ, а затѣмъ принялъ приглашеніе короля Венгріи Матвѣя Корвина привести въ порядокъ греческія рукописи, которыя послѣдній привезъ съ собой изъ Константинополя; въ 1471 году онъ перебрался въ Нюренбергъ, гдѣ въ лицѣ патриція Бернгарда Вальтера нашелъ покровителя и истиннаго друга науки. Послѣдній построилъ первую астрономическую обсерваторію въ Германіи. Тогда какъ Гиппархъ для опредѣленія положенія солнца пользовался луной, Вальтеръ повидимому первый воспользовался для этого Венерой (см. § 39). Дѣло въ томъ, что послѣдняя бываетъ иногда видима для хорошаго зрѣнія и до захода солнца, а такъ какъ она движется медленнѣе луны, то для такого рода опредѣленій гораздо удобнѣе. Регіомонтанъ пользовался у своихъ современниковъ большимъ и вполнѣ заслуженнымъ уваженіемъ. Вмѣстѣ съ Пурбахомъ онъ содѣйствовалъ введенію нашего нынѣшняго способа счисленія, который гораздо яснѣе и удобнѣе для вычисленій, нежели римская система. Онъ ввелъ вычисленія при помощи буквъ и улучшилъ тригонометрію. Какъ астрономъ, онъ отстаивалъ практическую точку зрѣнія, что важнѣе дѣлать хорошія наблюденія, чѣмъ набрасывать системы міра. Поэтому Регіомонтанъ отбросилъ также идею Пурбаха о вращеніи земли. По его мнѣнію, еслибы земля летѣла черезъ воздухъ, птицы не могли бы возвращаться къ своимъ гнѣздамъ. Въ то время полагали, что вселенная вся заполнена воздухомъ, и не догадывались, что земля можетъ увлекать свою атмосферу съ собою и, слѣдовательно, не летѣть сквозь нее. Впрочемъ, въ то время говорили о высотѣ круга паровъ (напримѣръ, Посидоній, § 53), но подъ этимъ разумѣли болѣе глубокій слой, въ которомъ плаваютъ облака, а не чистый воздухъ, находящійся выше въ пространствѣ между небесными тѣлами.

Въ то время было уже общеизвѣстно, что счисленіе времени пришло въ безпорядокъ, и потому папа Сикстъ IV пригласилъ знаменитаго Регіомонтана пріѣхать въ Римъ и составить планъ улучшенія календаря. Въ награду онъ долженъ былъ впослѣдствіи получить епископскую каѳедру въ Регенсбургѣ. Однако, вскорѣ по прибытіи въ Италію, въ 1476 году Регіомонтанъ умеръ.

Одна изъ работъ Регіомонтана имѣла необычайное значеніе; это было нѣчто вродѣ календаря на 32 года, отъ 1475 до 1506 гг., содержавшаго данныя относительно солнца, луны и звѣздъ. Этотъ трудъ сыгралъ важную роль въ зарождавшемся тогда искусствѣ плавать на морѣ „по звѣздамъ“. Книга Регіомонтана оказала неоцѣнимыя услуги Колумбу и другимъ великимъ мореплавателямъ того времени.

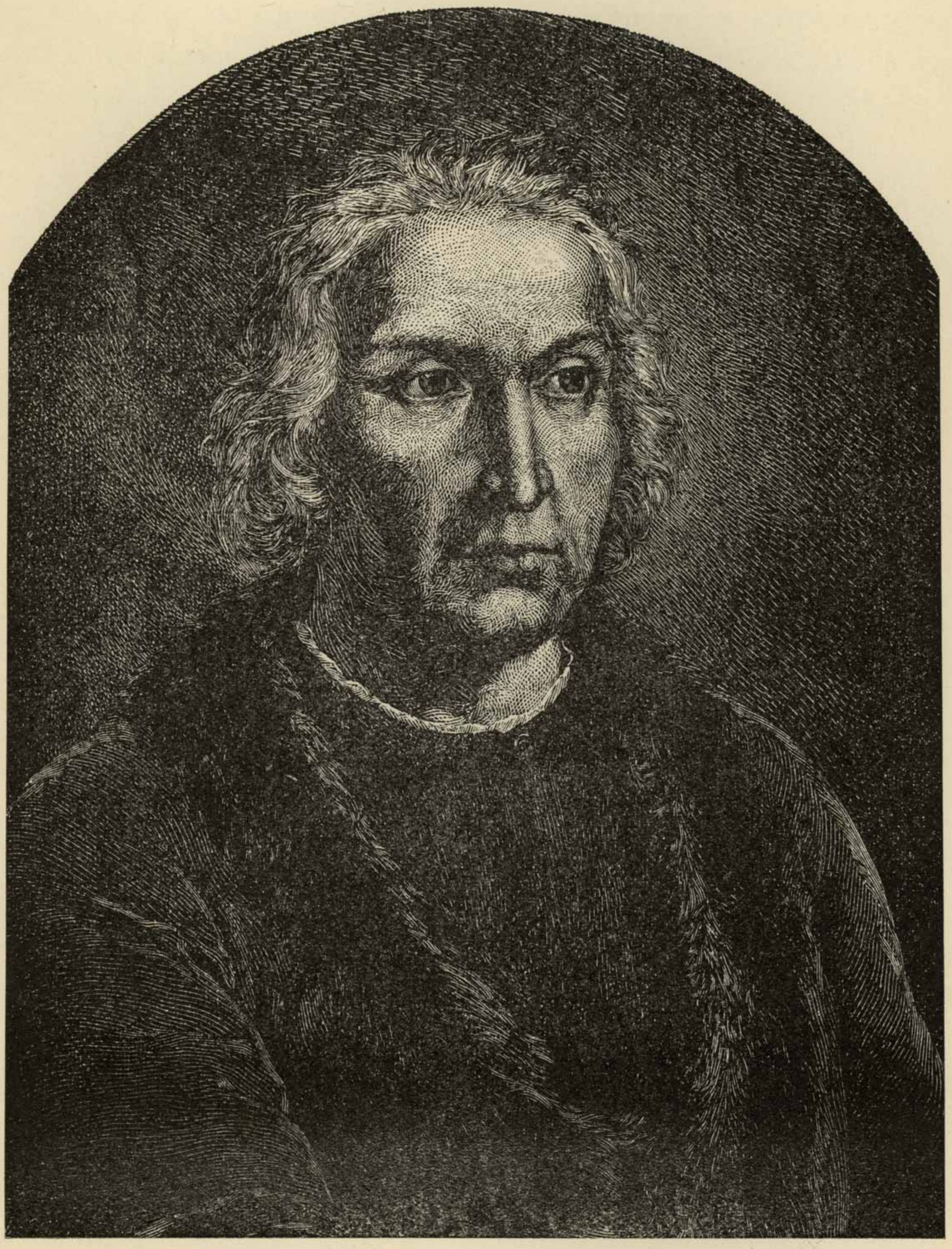
Если, съ одной стороны, подвиги этихъ мореплавателей нужно считать плодомъ пробуждавшейся астрономіи, то, съ другой стороны, они въ свою очередь плодотворно дѣйствовали на развитіе науки и культуры вообще. Здѣсь не мѣсто останавливаться на подробностяхъ подвиговъ Колумба, но отмѣтить связь его дѣятельности съ развитіемъ астрономіи необходимо.

62. Христофоръ Колумбъ, род. въ 1456 г. (не 1436, какъ принималось раньше), нѣкоторое время провелъ въ университетѣ въ Падуѣ, гдѣ занимался преимущественно математикой, географіей, астрономіей и навигаціей. Пробывъ нѣсколько лѣтъ моряком, проплававъ по Средиземному морю и совершивъ путешествія въ Англію, Исландію и въ нѣкоторыя другія страны, онъ поселился въ Лиссабонѣ, гдѣ женился и существовалъ рисованіемъ картъ моря и суши. Здѣсь онъ изучалъ глубже астрономическую географію, именно благодаря вліянію Мартина Бе-

http://mathesis.ru

гайма, ученика Регіомонтана, пріѣхавшаго въ Португалію въ 1480 году. Здѣсь онъ былъ назначенъ членомъ коммиссіи по развитію навигаціи, что тогда представляло очень значительное положеніе, такъ какъ въ это время вопросъ объ отысканіи морского пути въ Индію чрезвычайно интересовалъ португальцевъ. Бегаймъ познакомилъ также Колумба съ изобрѣтенной Регіомонтаномъ астролябіей, которая служила для измѣренія высотъ солнца и привѣшивалась къ мачтѣ корабля.

Рис. 40



Христофоръ Колумбъ.

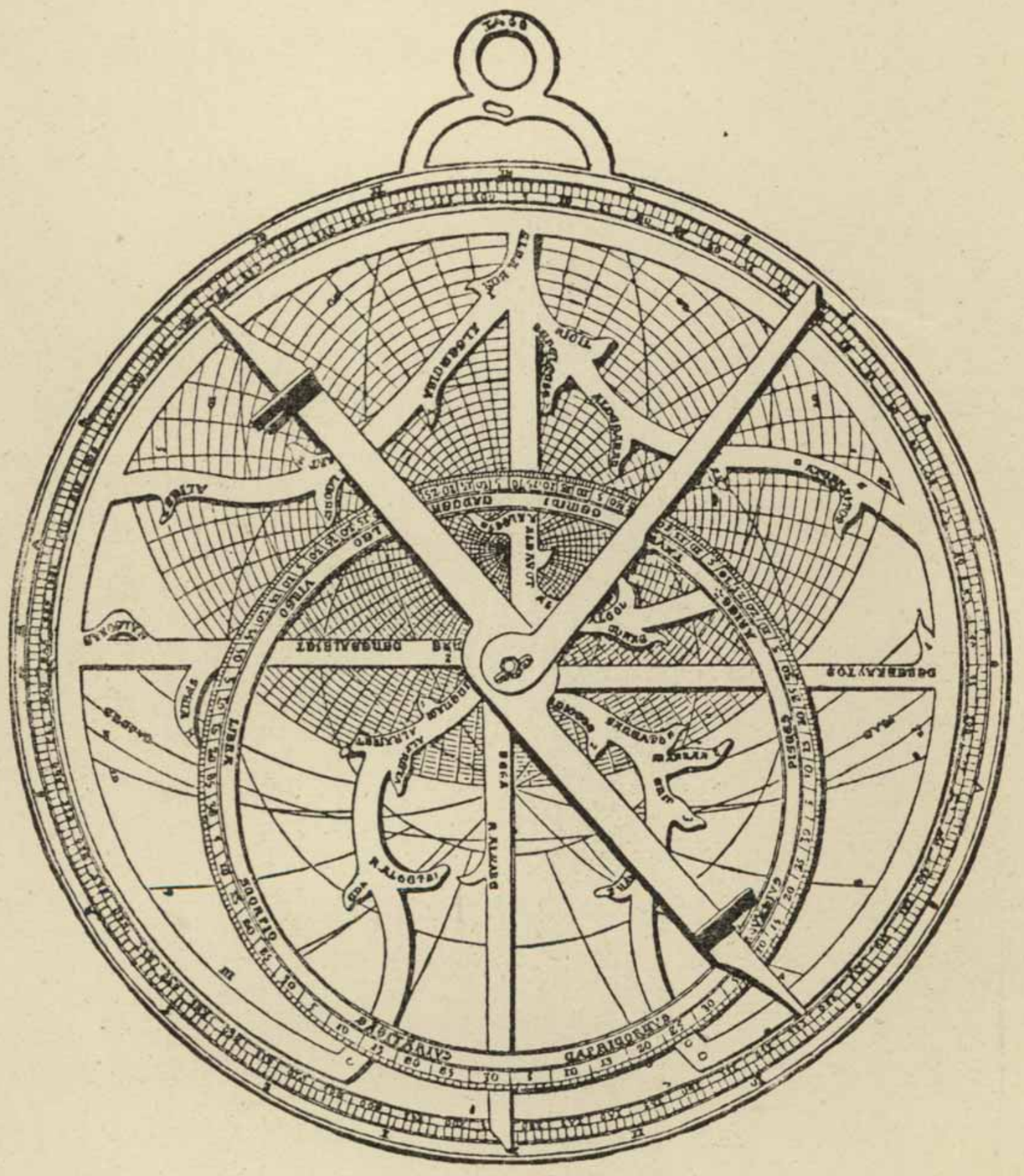
Колумбъ изучалъ также древнія греческія сочиненія, трактовавшія о формѣ земли, и состоялъ въ перепискѣ со многими учеными, которые были знакомы и съ древней и съ новой литературой, какъ, напримѣръ, съ престарѣлымъ италіанскимъ астрономомъ Тосканелли (род. 1397), который сильно поддерживалъ Колумба въ его планахъ. Въ одномъ изъ своихъ писемъ Колумбу онъ между прочимъ говоритъ:

http://mathesis.ru

„Ты видишь, что путешествіе, которое Ты хочешь предпринять, гораздо менѣе опасно, чѣмъ можно было бы думать, и Ты былъ бы совершенно убѣжденъ въ этомъ, еслибы, подобно мнѣ, имѣлъ случай познакомиться со многими людьми, бывавшими въ тѣхъ странахъ“.

Величину земного шара въ то время знали уже довольно хорошо и потому могли вычислить разстояніе до Азіи черезъ Атлантическій океанъ, считая конечно извѣстнымъ разстояніе до восточной Азіи по обычному тогда пути. Недостовѣрныя описанія путешественниковъ, бывавшихъ въ тѣхъ частяхъ Азіи (Марко Поло), привели Тосканелли и другихъ къ ошибочному мнѣнію, что извѣстная въ то время часть земного шара простирается на двѣ трети окружности земли и что, слѣдовательно, путь черезъ Атлантическій океанъ долженъ составлять одну треть окружности. Послѣднее,

Рис 41



Астролябія Регіомонтана.

впрочемъ, приблизительно согласовалось съ тѣмъ разстояніемъ, которое Колумбъ прошелъ по направленію къ западу, и потому онъ жилъ и умеръ въ убѣжденіи, что открылъ именно Азію и ея многочисленные острова.

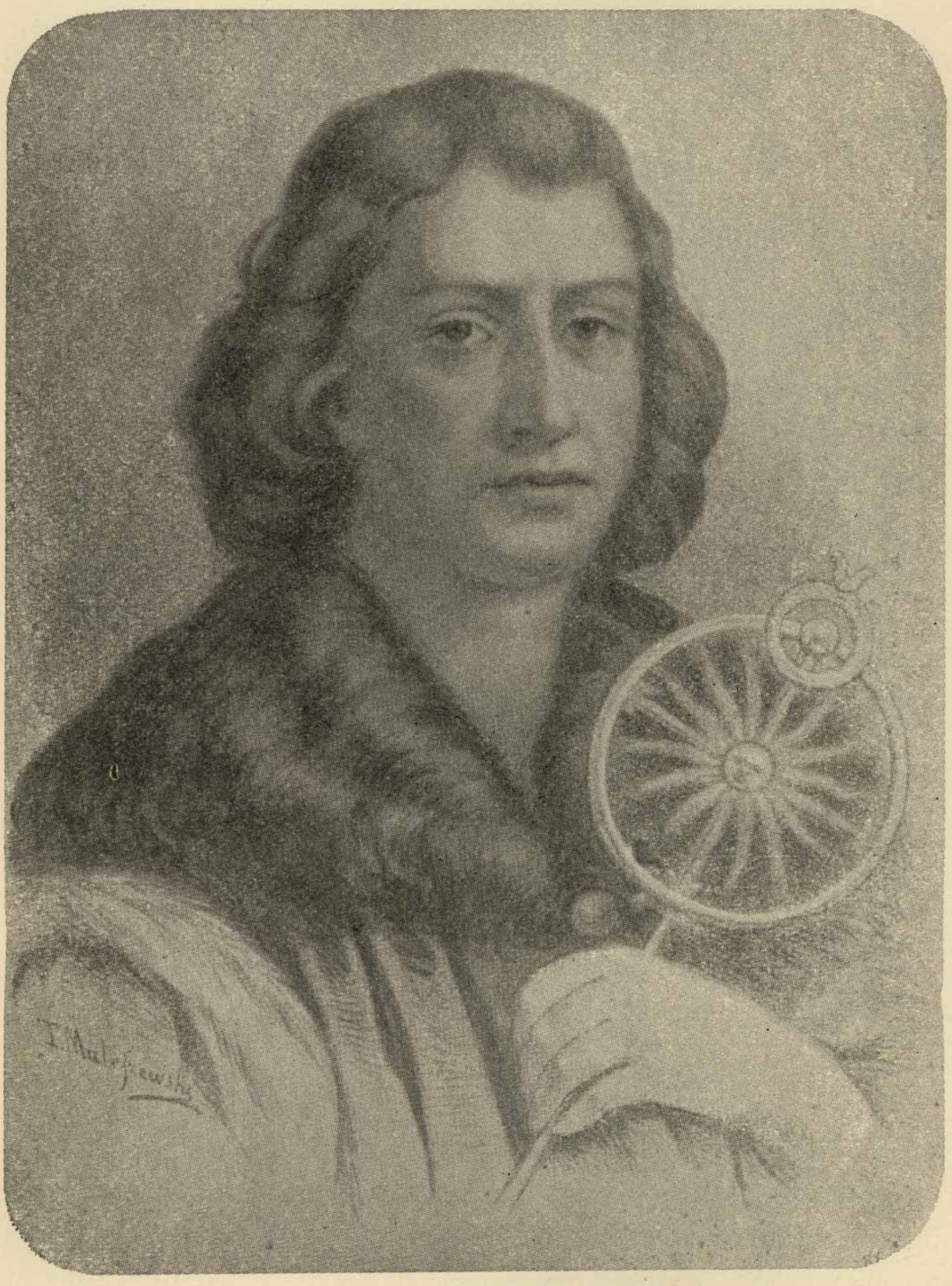
Такимъ образомъ Колумба увлекало, такъ сказать, теченіе времени. Что раньше или позже Америка была бы открыта, не подлежитъ никакому сомнѣнію. Но что Колумбъ въ 1492 году сдѣлалъ счастливое открытіе, оказавъ этимъ великую услугу человѣчеству, что это открытіе не произошло позднѣе, всѣмъ этимъ мы обязаны главнымъ образомъ его твердому убѣжденію и той желѣзной волѣ, съ которой онъ, какъ извѣстно, боролся съ различными затрудненіями, вставшими на его пути.

Такимъ образомъ возрожденная греческая астрономія дала въ Европѣ начало практическимъ результатамъ, которыхъ добились Колумбъ и другіе великіе путеше-

http://mathesis.ru

ственники того времени; она дала также вспомогательныя средства для этой работы въ видѣ астрономическихъ инструментовъ, таблицъ и указаній. Съ другой стороны и географическія открытія оказывали свое вліяніе на развитіе астрономіи. Слышать теоретическія доказательства того, что земля должна быть шаромъ, и слышать отъ какого-нибудь моряка, что онъ былъ на той сторонѣ земли,—двѣ совершенно различныя вещи. А уже и то представленіе, что земля есть свободно носящійся въ пространствѣ шаръ, а не дискъ, имѣетъ необыкновенное значеніе для всего міровоззрѣнія. Поэтому весьма знаменательно, что вскорѣ послѣ этихъ великихъ открытій въ области астрономіи появляется система міра Коперника.

Рис. 42



Николай Коперникъ.

63. Полякъ по происхожденію, Николай Коперникъ родился въ 1473 году въ Торнѣ, отецъ же его былъ родомъ изъ Франкенштейна въ Шлезіи.

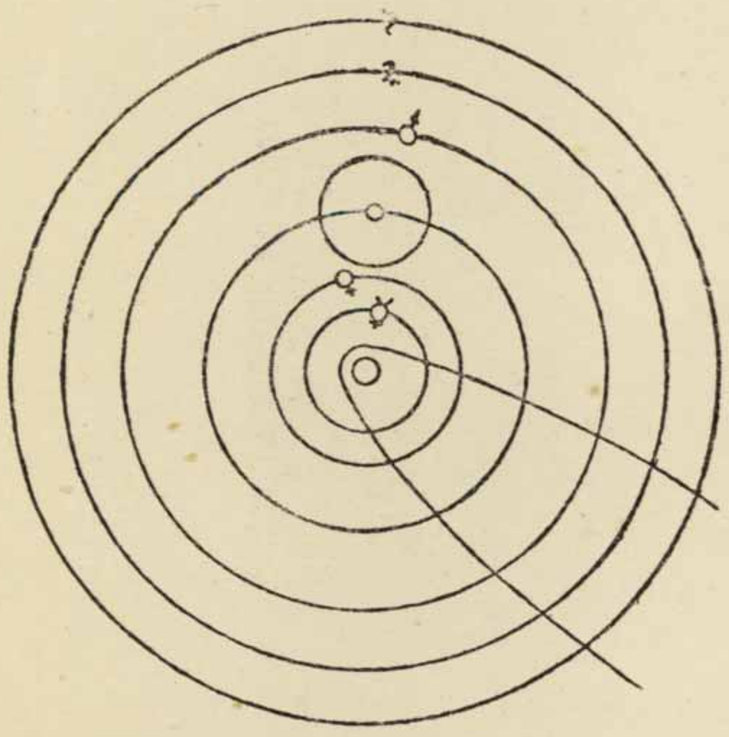
http://mathesis.ru

Коперникъ изучалъ сперва въ Краковѣ богословіе и медицину, а также математику и астрономію. Въ 1496 году онъ переѣхалъ въ Италію, гдѣ посвятилъ себя юридическимъ, медицинскимъ и астрономическимъ занятіямъ въ Болоньѣ, Римѣ и Падуѣ. Безъ сомнѣнія, въ это время онъ также изучалъ древнихъ грековъ. Съ другой стороны, нѣкоторыя наблюденія, сдѣланныя имъ, повидимому, имѣютъ второстепенное значеніе; вообще въ дѣлѣ наблюденія Коперникъ, кажется, никогда не былъ особенно силенъ (§ 70). По возвращеніи изъ Италіи (1505) онъ основался въ Гейльсбергѣ, гдѣ его дядя былъ епископомъ, а онъ самъ въ теченіе нѣсколькихъ лѣтъ каноникомъ. Здѣсь въ тишинѣ и уединеніи онъ посвятилъ шесть лѣтъ обработкѣ своего знаменитаго труда о движеніи небесныхъ тѣлъ. По смерти дяди до конца своей жизни (1543), съ небольшимъ только перерывомъ, Коперникъ жилъ во Фрауэнбургѣ.

Свой трудъ онъ закончилъ въ 1530 году. Онъ сообщалъ о немъ своимъ ученымъ друзьямъ, но не думалъ публиковать его. Только въ 1542 г. Коперникъ рѣшился подъ давленіемъ друзей, а именно епископа Гизе Кульмскаго и профессора Ретика въ Виттенбергѣ, разрѣшить печатать свой трудъ; въ посвященіи, обращенномъ къ папѣ Павлу III, онъ говоритъ, что трудъ этотъ вылеживался у него не девять, а четырежды девять лѣтъ Коперникъ не дожилъ до окончанія печатанія своей книги. Въ первое время съ его трудомъ знакомъ былъ только небольшой кругъ ученыхъ и въ теченіе 70 лѣтъ церковь не предъявляла никакихъ претензій къ этой книгѣ.

64. Трудъ[1]) Коперника обнимаетъ шесть книгъ и представляетъ подробную астрономію, которая содержитъ даже мелочи, вродѣ вспомогательныхъ таблицъ для астрономическихъ вычисленій. Но при всѣхъ своихъ разсужденіяхъ и объясненіяхъ онъ кладетъ въ основу предположеніе, что солнце неподвижно, а земля дѣлаетъ въ теченіе одного года оборотъ вокругъ солнца и въ теченіе однѣхъ сутокъ оборотъ около своей оси; эта ось наклонена къ плоскости земной орбиты и остается параллельной самой себѣ, измѣняя свое направленіе только съ теченіемъ тысячелѣтій. Все это не ново (ср. §§ 29 и 30). Коперникъ могъ найти это при изученіи древнихъ грековъ, но не менѣе достойно удивленія и то, что онъ вырвалъ эти мысли изъ тьмы забвенія; это ясно свидѣтельствуетъ о томъ, что Коперникъ положилъ въ основу собственныхъ работъ историческое изученіе предмета; и въ результатѣ своего изученія онъ пришелъ къ выводу, что планеты такъ же, какъ земля, движутся около солнца по кругамъ.

Рис. 43



Система Коперника (съ кометной орбитой).

Коперникъ первый соединилъ въ одну семью землю и планеты, первый призналъ ихъ дѣтьми солнца. Онъ расположилъ ихъ соотвѣтственно разстоянію отъ солнца въ слѣдующемъ порядкѣ: Меркурій, Венера, Земля, Марсъ, Юпитеръ, Сатурнъ. Чѣмъ дальше отъ солнца находится планета, тѣмъ медленнѣе она движется.

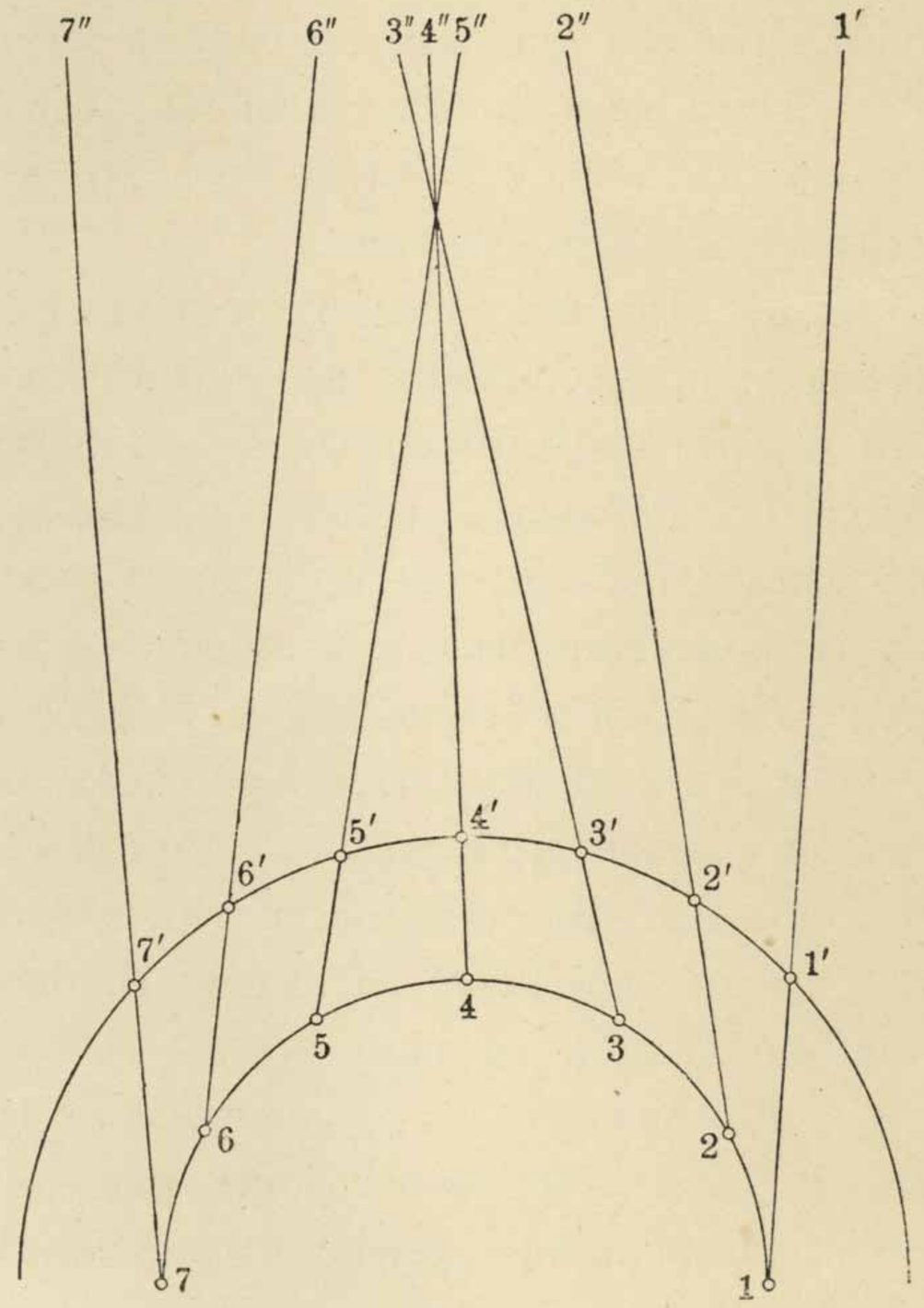
---

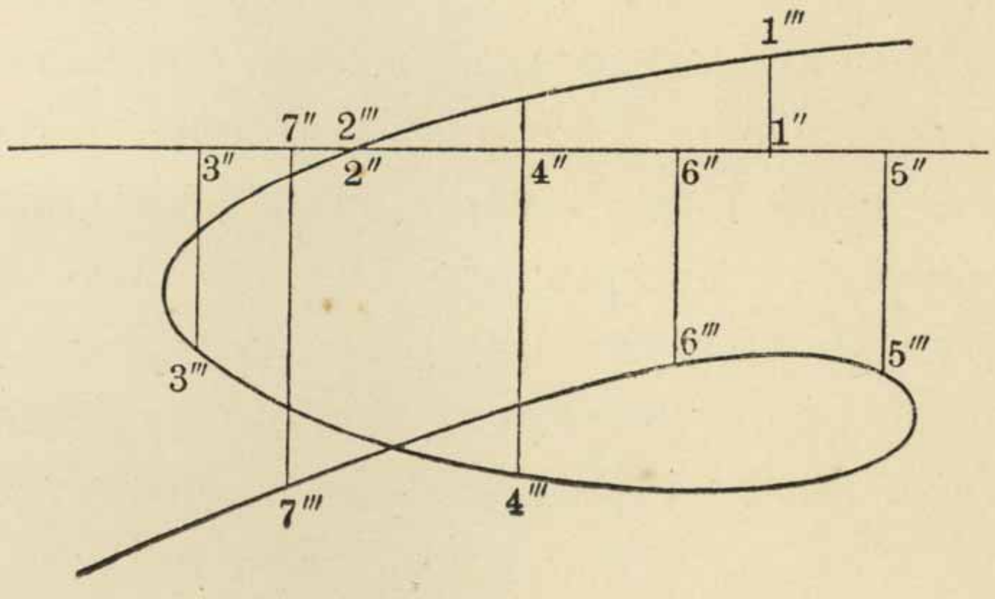
[1]) Его заглавіе: De revolutionibus orbium coelestium libri VI. Первое изданіе появилось въ Нюренбергѣ.

http://mathesis.ru

Теперь объясненіе петлеобразныхъ движеній планетъ стало очень простымъ. На рис. 44 два круга представляютъ орбиты земли и Марса. Земля и Марсъ одновременно находятся въ тѣхъ мѣстахъ своихъ орбитъ, которыя обозначены 1 и 1′, такъ же одновременно (напримѣръ, мѣсяцемъ позднѣе) въ точкахъ 2 и 2′, затѣмъ въ точкахъ 3 и 3′ и т. д. Такимъ образомъ Марсъ сначала будетъ виденъ въ направленіи 1″ между звѣздами, затѣмъ въ направленіи 2″, затѣмъ въ направленіи 3″, слѣдовательно, въ прямомъ движеніи; далѣе мы увидимъ его въ направленіяхъ 4″ и 5″, слѣдовательно, въ обратномъ движеніи, наконецъ въ направленіяхъ 6″ и 7″, снова въ прямомъ движеніи. И еслибы орбиты земли и Марса лежали въ одной и той же плоскости, то намъ бы казалось только, что планета движется по одной линіи взадъ и впередъ (рис. 44, 1″, 2″, 3″, 4″, 5″, 6″, 7″). Но если принять плоскость рисунка за плоскость земной орбиты, то орбита Марса будетъ частью лежать выше, а частью ниже плоскости рисунка. Еслибы, напримѣръ, точка 1′ лежала выше плоскости рисунка, точка 2′ въ самой плоскости и точки 3′—7′ ниже ея, то первая часть орбиты (1′ до 2′) лежала бы выше указанной прямой линіи, а остальная часть ниже ея. Въ своемъ движеніи отъ 2′ до 7′ Марсъ все время опускается ниже и ниже подъ плоскость рисунка, но въ точкахъ 4′ и 5′ онъ будетъ казаться ниже, чѣмъ въ точкѣ 6′, такъ какъ земля въ точкахъ 4′ и 5′ ближе къ Марсу; вслѣдствіе этого линія зрѣнія опускается здѣсь внизъ круче. Такимъ образомъ получается петля 1‴ 2‴ 3‴ 4‴ 5‴ 6‴ 7‴.

Рис. 44





Движеніе Марса.

Итакъ, видимыя неправильныя отклоненія планетъ въ стороны (по широтѣ) происходятъ вслѣдствіе наклона планетныхъ орбитъ къ земной и вслѣдствіе измѣненія разстояній планетъ отъ земли.

Такимъ же образомъ объясняются движенія Юпитера и Сатурна.

Движенія Меркурія и Венеры съ земли представляются колебательными движеніями въ одну и въ другую сторону отъ солнца. Въ дѣйствительности обѣ эти планеты могутъ находиться между нами и солнцемъ или же быть по ту сторону отъ солнца и, конечно, въ первомъ случаѣ онѣ значительно ближе къ намъ. Когда Венера находится къ востоку отъ солнца, такъ что солнце заходитъ раньше Венеры, ее можно наблюдать послѣ солнечнаго захода, какъ вечернюю звѣзду. Когда же она

http://mathesis.ru

находится къ западу отъ солнца, то восходитъ раньше солнца и бываетъ тогда утренней звѣздой. Меркурій также бываетъ иногда вечерней звѣздой, а иногда утренней, но такъ какъ онъ не далеко уходитъ отъ солнца, то наблюдать его во время утреннихъ и вечернихъ сумерекъ очень трудно, особенно въ болѣе сѣверныхъ широтахъ, гдѣ солнце опускается къ горизонту по болѣе наклонной линіи. Коперникъ, который былъ даже въ Италіи, гдѣ солнце заходитъ уже нѣсколько отвѣснѣе, а воздухъ чище, чѣмъ въ Германіи, жаловался, какъ говорятъ, на своемъ смертномъ одрѣ, что онъ никогда не видѣлъ Меркурія.

Пути внутреннихъ планетъ, особенно орбита Меркурія, также нѣсколько наклонны къ земной орбитѣ, такъ что ихъ рѣдко можно наблюдать проходящими черезъ самый дискъ солнца.

65. Такимъ образомъ Коперникъ нашелъ объясненіе своеобразныхъ движеній планетъ, предположивъ, что планеты и земля движутся вокругъ солнца по кругамъ. Но для того, чтобы согласовать это объясненіе съ наблюденіями, онъ долженъ былъ принять, что солнце находится нѣсколько въ сторонѣ отъ центра этихъ круговъ; тѣмъ не менѣе, какъ онъ самъ долженъ былъ сознаться, достигнуть полнаго согласія теоріи съ наблюденіями было невозможно. А отъ вѣрнаго объясненія можно требовать, чтобы оно давало такое согласованіе. И даже если это выполнено, то еще нельзя быть увѣреннымъ, что данное объясненіе правильно. Но если этого нѣтъ, то объясненіе вовсе нельзя считать правильнымъ. Другой великій астрономъ, Тихо Браге, не находитъ этого необходимаго согласія. Поэтому онъ отказывается развивать теорію Коперника дальше, а берется за задачу наново и притомъ ставитъ ее шире, чѣмъ это дѣлалось когда-либо до тѣхъ поръ.

66. Тихо Браге, родившійся въ 1546 году въ Кнудструпѣ въ датской провинціи Шоніи, былъ старшимъ сыномъ изъ десяти дѣтей Отто Браге и Беаты Билле. Его родители оба принадлежали къ старинному дворянству. Онъ воспитывался у своего дяди Ергена Браге въ Тааструпѣ, который былъ женатъ, но не имѣлъ дѣтей. Послѣ изученія впродолженіе нѣсколькихъ лѣтъ латинскаго языка и даже попытокъ сочиненія латинскихъ стиховъ и писемъ, онъ вступилъ по тринадцатому году въ Копенгагенскій университетъ. Солнечное затменіе, имѣвшее мѣсто въ слѣдующемъ году, возбудило удивленіе Тихо именно тѣмъ, что оно было предсказано. Это пробудило въ немъ интересъ къ астрономіи. Однако дядя желалъ сдѣлать изъ него государственнаго человѣка. На 15 году Тихо былъ посланъ въ сопровожденіи своего 19-лѣтняго гофмейстера Феделя въ Лейпцигъ, гдѣ онъ долженъ былъ изучать государственныя науки; Фе-дель имѣлъ строгій наказъ удерживать его исключительно на этихъ занятіяхъ. Фе-дель старался изо всѣхъ силъ, но ему не удалось удержать Тихо отъ изученія астрономіи. Послѣдній тайкомъ вставалъ во время его сна по ночамъ и знакомился съ астрономическими книгами и жалкими инструментами, которые онъ тайкомъ же пріобрѣлъ. Его интересъ къ астрономіи еще увеличился, когда въ 1563 году по случаю соединенія (конъюнкціи) Юпитера и солнца, онъ могъ доказать при помощи простыхъ средствъ, какими располагалъ, что, какъ Альфонсинскія таблицы, такъ и вычисленныя на основѣ Коперниковой системы такъ называемыя Прутеновы таблицы были ошибочны.

Вслѣдствіе войны, вспыхнувшей между Даніей и Швеціей, Тихо въ 1565 году получилъ отъ своего дяди приказаніе вернуться на родину. Вскорѣ затѣмъ послѣд-

http://mathesis.ru

ній умеръ и такъ какъ Тихо встрѣчалъ мало пониманія и симпатій въ средѣ своего сословія, то онъ уѣхалъ въ Виттенбергъ. Здѣсь онъ встрѣтилъ многихъ земляковъ, которыхъ сильно привлекалъ городъ Лютера. Чума заставила его перебраться въ городъ Ростокъ. Здѣсь онъ завязалъ сношенія съ профессоромъ Баттомъ, усерднымъ астрологомъ. И Тихо пробовалъ свои силы въ этомъ искусствѣ, которое въ

Рис. 45



Тихо Браге.

то время представляло приложеніе астрономіи, пользовавшееся наибольшимъ вниманіемъ. Владѣтельные князья назначали для этого даже особыхъ астрономовъ. Однако, впослѣдствіи Тихо самъ все болѣе и болѣе отдѣлывался отъ этого суевѣрія. Позднѣе онъ, впрочемъ, по приказу Фридриха II составилъ гороскопы для принцевъ Христіана,

http://mathesis.ru

Ульриха и Ганса. Онъ произвелъ нужныя для этого вычисленія съ большою тщательностью, но не упустилъ случая указать свои сомнѣнія относительно достовѣрности астрологіи. Такъ въ заключеніи гороскопа принца Христіана онъ говоритъ: „Человѣкъ одаренъ отъ Бога свободной волей, которая стоитъ выше вліяній небесныхъ тѣлъ“. Въ концѣ гороскопа принца Ульриха онъ говоритъ, что все это только предположеніе, полагаться на которое совершенно нельзя. Подобнымъ же образомъ выражается Тихо и въ гороскопѣ принца Ганса. Наконецъ, позднѣе по поводу предсказаній погоды нѣмецкими астрологами, которыя были ему представлены на одобреніе, онъ пишетъ, что астрологическія пророчества то же, что котурнъ, который можно приспособить къ каждой ногѣ, и что потому онъ никогда не имѣлъ къ нимъ особеннаго довѣрія.

Въ Ростокѣ онъ имѣлъ несчастье поссориться съ однимъ землякомъ и въ поединкѣ на улицѣ лишиться куска носа, что позднѣе причиняло ему много непріятностей.

При своихъ дальнѣйшихъ путешествіяхъ по чужбинѣ онъ нашелъ въ Аугсбургѣ богатыхъ покровителей астрономіи и хорошихъ механиковъ, которымъ поручилъ изготовленіе новыхъ инструментовъ. Такъ, Тихо приказалъ соорудить большой квадрантъ изъ дубоваго дерева съ мѣдной шкалой (рис. 7), который 20 человѣкъ съ трудомъ могли перенести на то мѣсто въ саду, гдѣ онъ долженъ былъ стоять. Такъ какъ при помощи этого инструмента можно было измѣрять только высоту свѣтилъ надъ горизонтомъ, то онъ приказалъ построить еще одинъ секстанъ (рис. 46), при помощи котораго можно было измѣрять разстоянія звѣздъ другъ отъ друга. Затѣмъ Тихо приказалъ сдѣлать золоченый глобусъ въ четыре фута поперечникомъ, на который должны были наноситься звѣзды по опредѣленіи ихъ мѣстъ. Эту работу онъ продолжалъ до самой смерти.

Въ 1570 году умеръ Отто Браге и Тихо унаслѣдовалъ вмѣстѣ съ своимъ старшимъ братомъ Кнудструпъ. Онъ вернулся на родину, но предпочелъ жить у своего дяди Стеена Билле въ монастырѣ Герредсфадѣ, гдѣ для него была устроена лабораторія. Заграницей онъ занимался также химіей, главной задачей которой въ то время было добываніе золота. Это „искусство“ находилось во власти такихъ же суевѣрій, какъ астрологія; въ то время вѣрили даже, что между алхиміей и астрологіей должна существовать внутренняя связь.

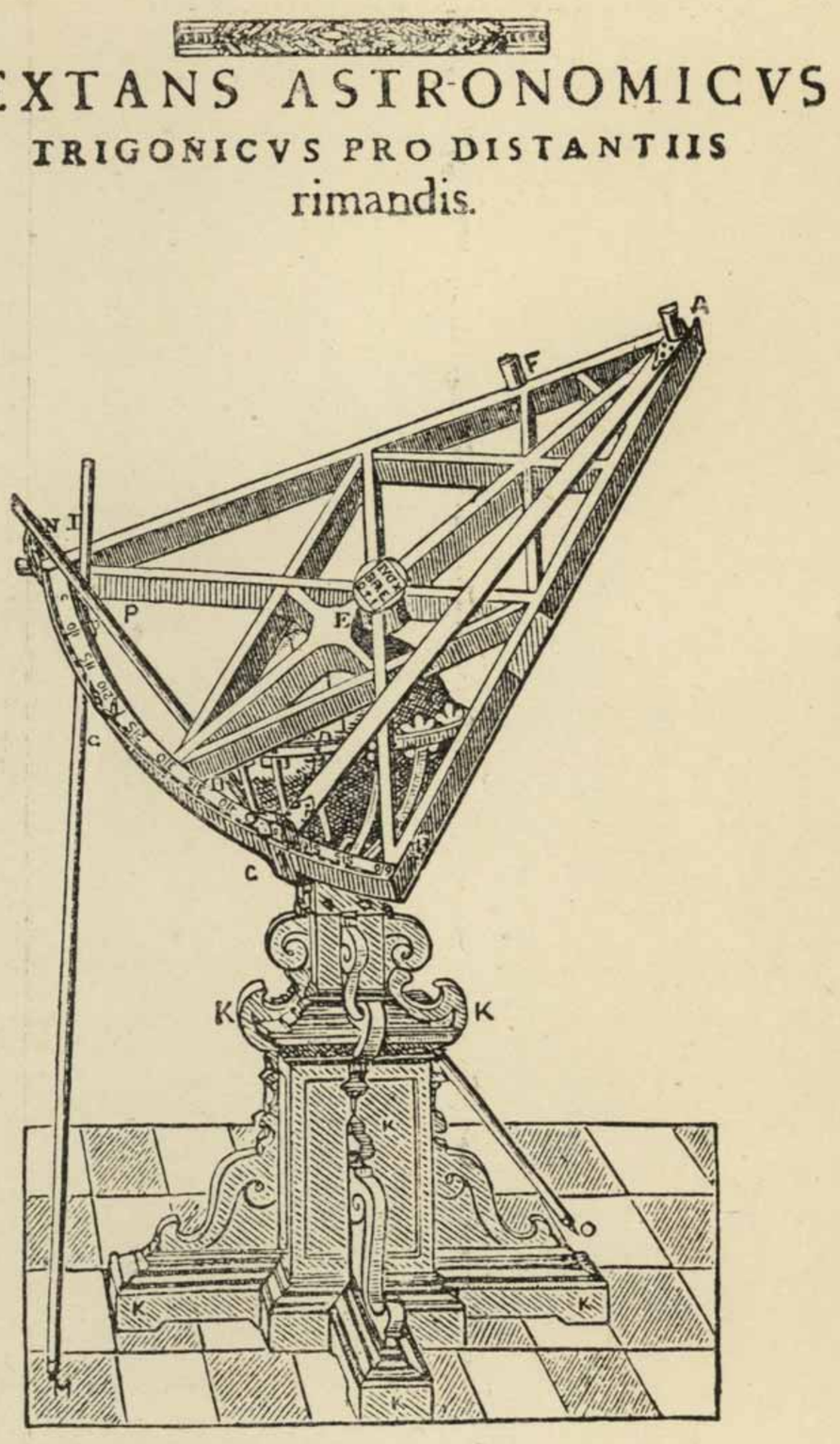
67. Одно астрономическое явленіе однако внезапно оторвало Тихо отъ его химическихъ занятій. Именно, когда Тихо вышелъ изъ своей лабораторіи вечеромъ 11 ноября 1572 года, то высоко въ небѣ, въ созвѣздіи Кассіопеи онъ увидѣлъ блестящую новую звѣзду. Убѣдившись изъ распросовъ нѣсколькихъ рабочихъ и крестьянъ, что это явленіе не было только его фантазіей, онъ тотчасъ же принялся за наблюденіе окраски и видимой яркости звѣзды, а также за измѣреніе ея разстоянія отъ другихъ звѣздъ. Звѣзда была ярче всѣхъ другихъ звѣздъ и была видима даже въ полдень. Сначала она была бѣлой, позднѣе стала желтой и красноватой и въ то же время ослабѣла, пока, приблизительно черезъ полтора года, совершенно не исчезла.

Изъ измѣреній Тихо Браге выяснилось, что звѣзда была совершенно неподвижна. За все время ея наблюденій она не обнаружила никакихъ перемѣщеній. Съ разныхъ сторонъ появлялись болѣе или менѣе фантастическія сочиненія объ этой

http://mathesis.ru

звѣздѣ, и Тихо Браге напечаталъ статью о ней еще до того, какъ она погасла. Позднѣе онъ написалъ объ этой звѣздѣ подробную книгу. О содержаніи другихъ сочиненій едвали нужно что-нибудь отмѣчать кромѣ того, что въ нихъ указывалось, согласно лѣтописямъ, появленіе новой звѣзды приблизительно на томъ же мѣстѣ въ 945 и 1264 гг.

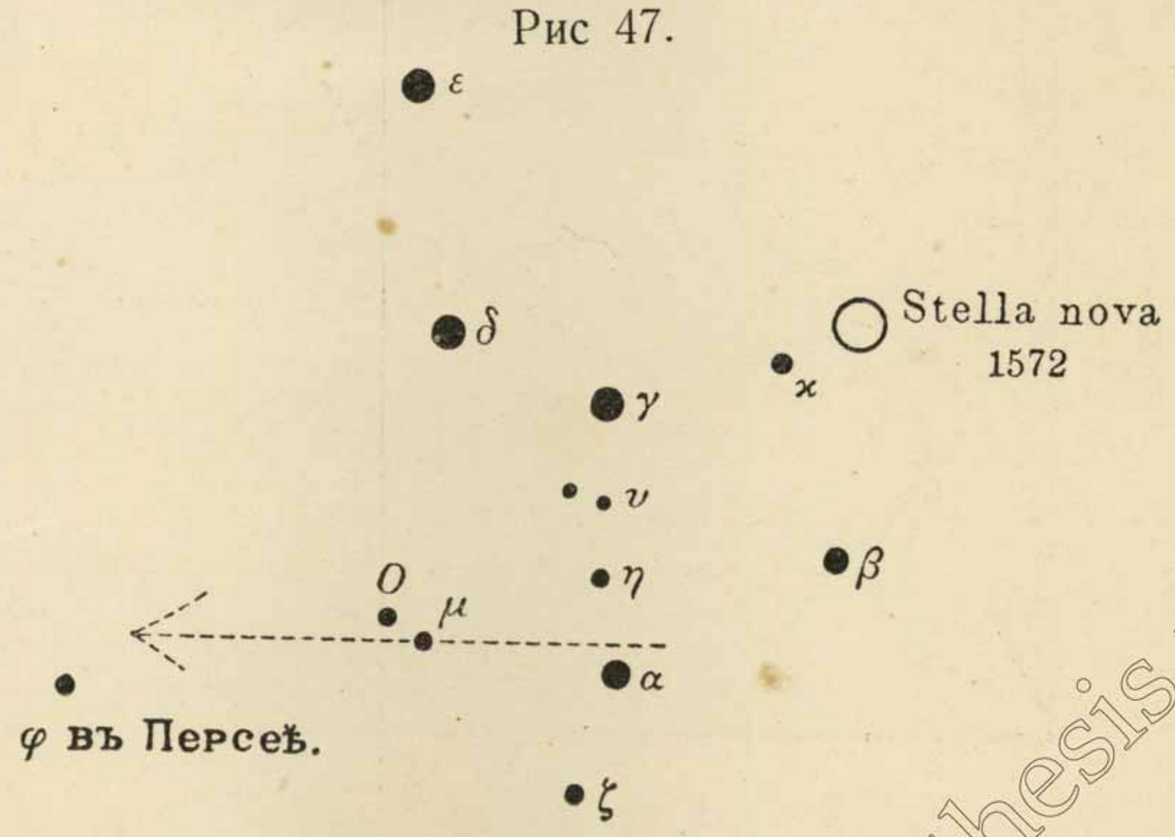
Рис. 46



Большой секстанъ Тихо Браге.

68. Въ 1573 году Тихо Браге женился на дѣвушкѣ по имени Христина, не дворянскаго рода. Неизвѣстно, была ли она дочь крестьянина или пастора, но этотъ шагъ во всякомъ случаѣ еще ухудшилъ плохія отношенія Браге къ дворянству. Правда въ 1574 году онъ купилъ домъ въ Копенгагенѣ, а въ слѣдующемъ году по желанію короля читалъ лекціи въ университетѣ, но въ 1576 году поѣхалъ въ Германію, отчасти, чтобы посѣтить старыхъ друзей, отчасти же, чтобы искать себѣ новаго мѣстожительства. Тихо собирался поселиться въ Базелѣ; но когда въ слѣдующемъ году онъ снова вернулся домой, король, по совѣту своихъ совѣтниковъ, рѣшилъ удержать Тихо Браге на родинѣ, назначивъ ему жалованіе (500 талеровъ) и островъ Гвенъ (Hveen) въ видѣ лена въ пожизненное владѣніе. Кромѣ того король назначилъ ему 400 талеровъ на постройку дома и позднѣе далъ еще другіе лены. Эта королевская щедрость дала Браге возможность построить на островѣ Гвенѣ Ураніенборгъ—своеобразное зданіе, содержавшее много достопримѣчательностей и художественныхъ предметовъ и окруженное фруктовыми садами и стѣнами. Замокъ этотъ былъ художественно отдѣланъ и богато украшенъ портретами великихъ людей прошлаго и различными изрѣченіями. Изъ послѣднихъ, кажется, любимымъ было повторявшееся въ различныхъ формахъ „non haberi, sed esse“ (не казаться, но быть). Обсерваторія была снабжена также большой библіотекой, звѣздными глобусами и инструментами. Послѣдніе помѣщались большей частью въ подземной обсерваторіи „Шернборгъ“ (рис. 50), воздвигнутой возлѣ самаго Ураніенборга въ 1584 г.

Рис 47.



Кассіопея съ новой звѣздой Тихо Браге.

Тихо Браге принималъ въ Ураніенборгѣ визиты князей, ученыхъ и государ-

http://mathesis.ru

ственныхъ людей изъ чужихъ краевъ, а въ числѣ его учениковъ были не только лица, достигшія позднѣе высокихъ положеній (епископы, профессора и т. д.), но также и простые крестьяне, имена которыхъ извѣстны и теперь. Въ теченіе цѣлаго ряда лѣтъ Ураніенборгъ былъ духовнымъ центромъ, нерѣдко дававшимъ импульсы и не одной только астрономіи.

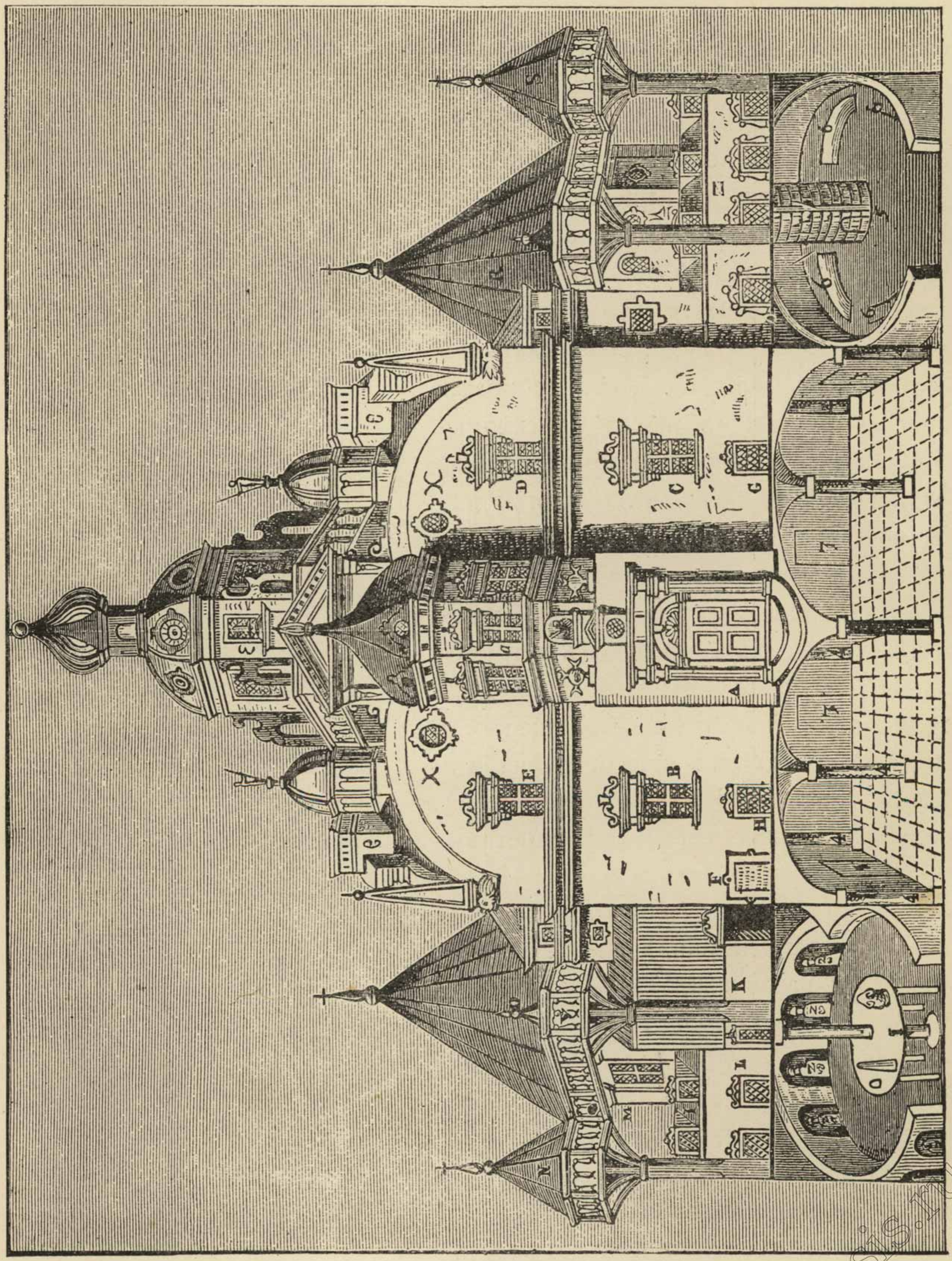


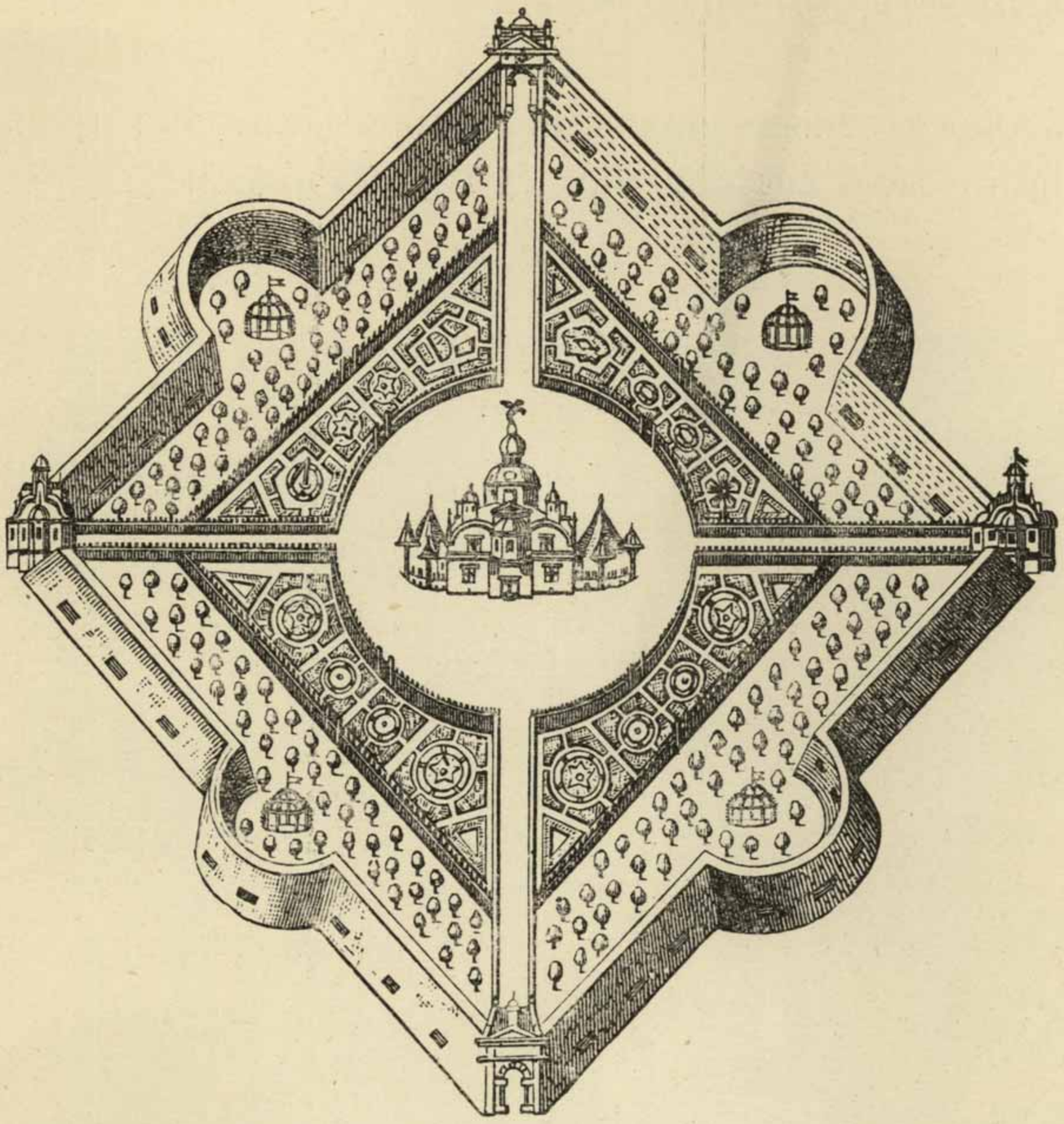
Рис. 48 Ураніенборгъ.

69. Самую выдающуюся работу Тихо Браге, какъ астронома, представляютъ его необычайно точныя измѣренія, съ которыми не могутъ сравниться даже измѣренія Гиппарха. Его искусство въ конструированіи инструментовъ и въ умѣніи пользоваться ими, неутомимая заботливость, съ которой онъ производилъ и повторялъ свои

http://mathesis.ru

измѣренія, стоятъ на недосягаемой высотѣ, а его наблюденія представляютъ лучшее, что было сдѣлано въ теченіе слѣдующихъ двухсотъ лѣтъ, не смотря на то, что нѣсколько лѣтъ спустя послѣ его смерти въ употребленіе вошелъ телескопъ. Даже и

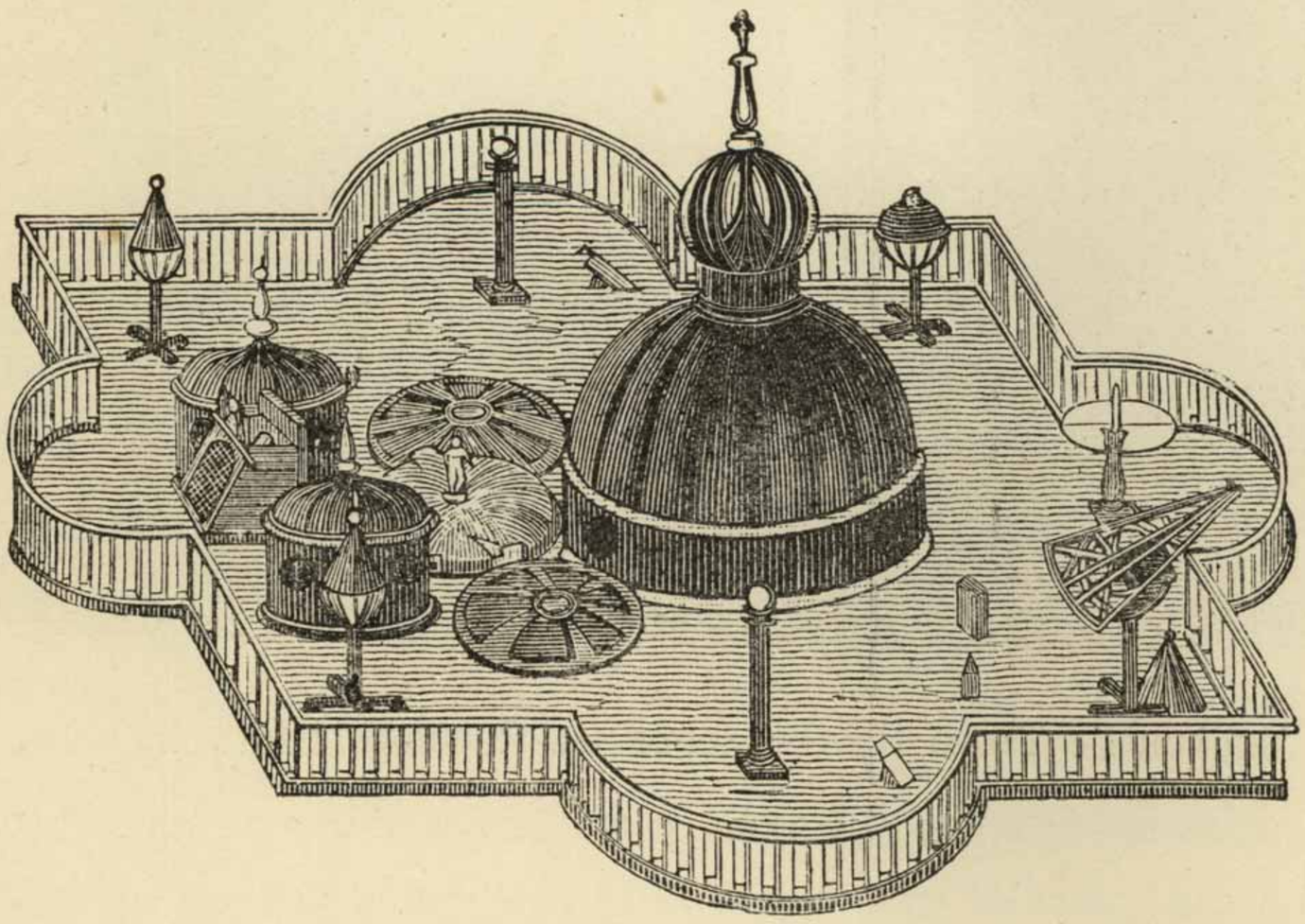
Рис. 49



Планъ Ураніенборга и окружающей мѣстности.

теперь эти измѣренія представляютъ интересъ, какъ очень достовѣрный матеріалъ, имѣющій за собою уже три столѣтія. Какъ важный примѣръ превосходныхъ спосо-

Рис. 50



Шернборгъ.

бовъ наблюденія Тихо Браге, можно отмѣтить, что онъ опредѣлялъ положеніе звѣзды по наблюденію ея прохожденія черезъ меридіанъ, не только измѣряя ея высоту

http://mathesis.ru

въ меридіанѣ, но и отмѣчая моментъ прохожденія. Первое даетъ склоненіе (разстояніе отъ экватора) звѣзды, послѣднее — ея разстояніе къ востоку или къ западу отъ опредѣленной исходной точки. Какъ производилось наблюденіе, показываетъ рис. 52. Помощникъ F наблюдаетъ высоту свѣтила и выкрикиваетъ моментъ прохожденія, помощникъ H отсчитываетъ въ этотъ моментъ часы, а помощникъ G отмѣчаетъ результаты.

На точныхъ опредѣленіяхъ положеній планетъ, которыя произвелъ Тихо Браге Кеплеръ обосновалъ свою систему міра (§ 72). Въ одномъ вопросѣ Тихо Браге не

Рис. 51



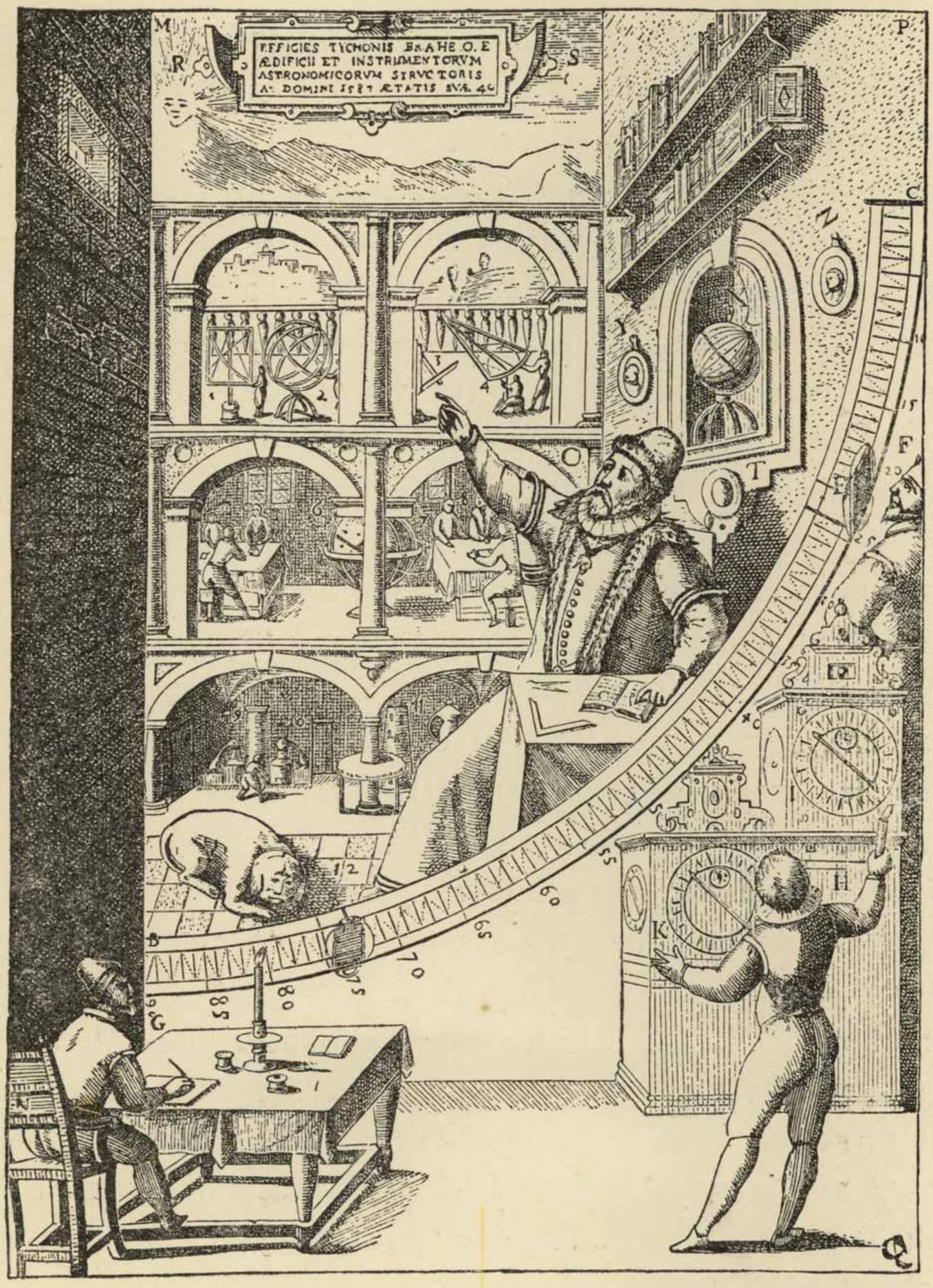
Посѣщеніе Тихо Браге королемъ Яковомъ Шотландскимъ.

только сдѣлалъ измѣреніе, но далъ также и выводъ изъ него. Какъ выяснилось изъ его измѣреній, кометы такъ далеки отъ земли, чтоне могутъ, какъ это думалъ Аристотель, быть испареніями земной атмосферы, но должны быть небесными тѣлами, двигающимися по удлиненнымъ путямъ. Этимъ была разбита старая теорія кругового движенія на хрустальныхъ сферахъ и дано важное указаніе въ пользу законовъ Кеплера.

http://mathesis.ru

70. Тихо Браге не призналъ законовъ Кеплера соотвѣтствующими истинѣ. Еслибы земля дѣйствительно двигалась около солнца, то по его мнѣнію за полгода она должна была бы смѣщаться настолько (на поперечникъ земной орбиты), что должно было бы обнаружиться перемѣщеніе тѣхъ звѣздъ, которыя находятся вертикально надъ плоскостью земной орбиты. Если въ мартѣ земля находится въ точкѣ M (рис. 53), а въ сентябрѣ въ S, то звѣзда s должна быть видна въ различныхъ направленіяхъ. Долженъ существовать уголъ $M s S$, такъ называемый параллаксъ. Однако Тихо Браге не удалось найти его. Допущеніе, что s такъ далеко, что этотъ уголъ

Рис. 52



Наблюденіе высоты свѣтила въ меридіанѣ.

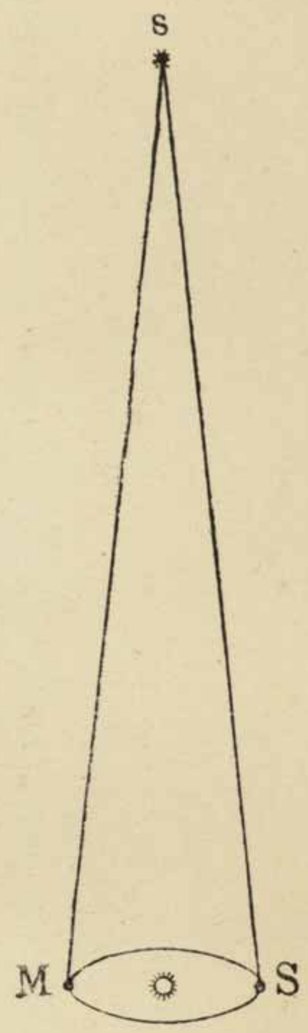
не поддается даже тонкимъ измѣреніямъ Тихо Браге, также казалось невѣроятнымъ. Вѣдь въ этомъ случаѣ параллаксъ звѣзды былъ бы гораздо меньше видимыхъ угловыхъ размѣровъ ея диска[1]) и потому выходило бы, что дѣйствительные размѣры звѣзды значительно больше діаметра земной орбиты. Нѣкоторые ученые, желая умалить значеніе Тихо Браге, утверждали, что онъ не былъ великимъ умомъ, такъ какъ не могъ согласиться съ Коперникомъ. Однако это и несправедливо и невѣрно исторически.

[1]) Браге оцѣнивалъ діаметры дисковъ яркихъ звѣздъ въ 2′—3′, погрѣшности же его наблюденій, въ которыхъ параллаксъ могъ остаться скрытымъ, были меньше 1′. *Прим. пер.*

http://mathesis.ru

Подъ портретомъ Коперника, который былъ полученъ отъ самого Коперника и повѣшенъ въ Ураніенборгѣ, Тихо написалъ латинскій стихъ, въ которомъ выражалъ свое удивленіе человѣку, рѣшившемуся заставить неподвижную до того землю двигаться и свободно висѣть въ воздухѣ. Это, однако, не мѣшало ему и критиковать, и притомъ справедливо, скудныя и отчасти ошибочныя наблюденія Коперника. Его ученикъ Е. О. Морзингъ опредѣлилъ секстаномъ широту Фрауенбурга и, разойдясь съ Коперникомъ, нашелъ ту величину, которую предполагалъ Тихо Браге. То, что Тихо Браге отстаивалъ неподвижность земли, является свидѣтельствомъ его любви къ истинѣ, такъ какъ онъ полагался здѣсь на то, что говорили ему чувства, а противоположное въ то время еще ничѣмъ не было доказано. Отсутствіе параллакса у неподвижныхъ звѣздъ еще и въ слѣдующіе вѣка являлось камнемъ преткновенія, хотя въ то время уже стали извѣстны другія достовѣрныя доказательства движенія земли.

Рис. 53



Линія зрѣнія къ звѣздѣ съ концовъ поперечника земной орбиты.

71. По смерти Фридриха II для Тихо Браге настало время разочарованій и огорченій, причина которыхъ отчасти лежала и въ его своенравномъ характерѣ. Больше всего сердило его то, что болѣе молодые дворяне, замѣщавшіе при королевскомъ дворѣ старыхъ, дѣлали ему всевозможныя препятствія. Браге терялъ одинъ ленъ за другимъ, и эта перемѣна обстоятельствъ такъ испортила ему жизнь на Гвенѣ, что въ 1597 году онъ рѣшилъ покинуть Данію. Слѣдующую зиму вмѣстѣ со своей семьей и тѣми изъ помощниковъ, которые послѣдовали за нимъ, по приглашенію графа Ранцау Тихо провелъ въ Вандсбекѣ. Здѣсь онъ закончилъ свою важнѣйшую работу, списокъ 1000 слишкомъ неподвижныхъ звѣздъ. Императоръ Рудольфъ II пригласилъ Браге въ Прагу и онъ пытался продолжать здѣсь свои работы. Но, когда императоръ замѣтилъ, что пребываніе въ городѣ ему не нравится, то предложилъ Браге на выборъ три замка. Тихо избралъ Бенатекъ; онъ работалъ здѣсь еще нѣсколько лѣтъ, но, очевидно, сильно тосковалъ по родинѣ и по своимъ старымъ друзьямъ, а особенно по своемъ ученикѣ Лонгомонтанѣ. Даже характеръ Тихо Браге въ извѣстной мѣрѣ измѣнился. Ранѣе открытый и сообщительный, теперь Тихо сталъ недовѣрчивымъ и замкнутымъ, такъ что даже его новый замѣчательный помощникъ Іоганнъ Кеплеръ лишь съ трудомъ могъ получать отъ него необходимыя разъясненія. Тихо Браге умеръ въ 1601 году и былъ похороненъ съ царской пышностью въ церкви Тайна въ Прагѣ. Спустя три года умерла его вдова, похороненная на томъ же мѣстѣ.

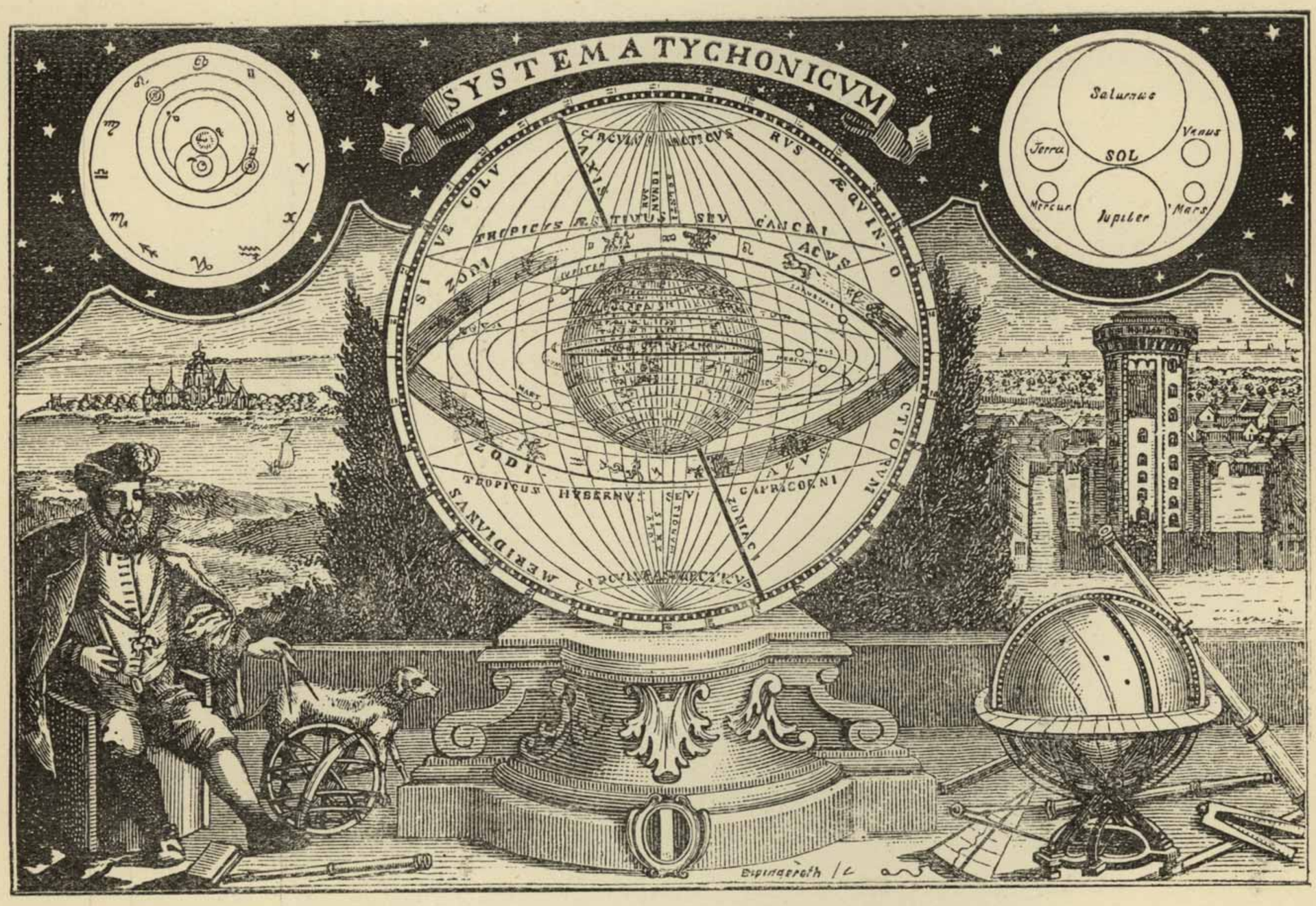
Ураніенборгъ скоро пришелъ въ разрушеніе. Гюэ, посѣтившій островъ въ 1562, и Пикаръ въ 1671 году лишь съ трудомъ могли найти мѣсто, гдѣ онъ стоялъ. По Копенгагенскому миру въ 1660 г. островъ Гвенъ перешелъ къ Швеціи и когда въ 1823 и 1824 гг. здѣсь были предприняты раскопки, то не было найдено почти ничего кромѣ камня у спуска въ Шернборгъ съ (латинской) надписью: „Не власть и богатство, а искусство владѣетъ скипетромъ всѣхъ временъ“.

72. Іоганнъ Кеплеръ родился въ 1572 году въ Вюртембергскомъ городѣ Вейлѣ. За отсутствіемъ родителей — его отецъ нанялся въ войска герцога Альбы — онъ получилъ первое воспитаніе отъ дѣда и бабушки. Дальнѣйшее образованіе, по-

http://mathesis.ru

лученное имъ въ Леонбергѣ и позднѣе въ Элльмендингенѣ, въ Баденѣ, гдѣ поселились его родители по возвращеніи, было довольно скудно; но затѣмъ онъ посѣщалъ монастырскія школы въ Гирзау и Маульброннѣ, а послѣ поступилъ въ Тюбингенскій университетъ для изученія богословія. Здѣсь въ лицѣ астронома и математика Мэстлина, очень образованнаго человѣка и приверженца Коперникова ученія, онъ нашелъ не только превосходнаго учителя, но и вѣрнаго друга на всю жизнь. Благодаря рекомендаціи Мэстлина Кеплеръ въ возрастѣ 22 лѣтъ былъ назначенъ профессоромъ математики въ Грацѣ. Здѣсь онъ составилъ календарь и издалъ сочиненіе[1]), въ кото-

Рис. 54



Система міра по Тихо. Рисунокъ изъ „Danske Adelsmaend“; слѣва Гвеенъ, Тихо и его система міра, справа воздвигнутая позднѣе „Круглая башня“, телескопъ и сравнительные размѣры планетъ.

ромъ указывалъ своеобразный законъ для разстояній планетъ отъ солнца. Кеплеръ нашелъ, что каждый изъ пяти правильныхъ многогранниковъ можно помѣстить между двумя изъ шести планетъ такъ, что одна планета двигается по шару, проходящему черезъ углы этого тѣла, а другая по шару, который касается плоскостей тѣла (описанный и вписанный шаръ). Такъ, между Меркуріемъ и Венерой можно помѣстить октаэдръ, между Венерой и землей икосаэдръ, между землей и Марсомъ декаэдръ, между Марсомъ и Юпитеромъ тетраэдръ, а между Юпитеромъ и Сатурномъ гексаэдръ (кубъ). Правило это не вполнѣ точно, но напоминаетъ философію чиселъ (Пиѳагоръ); книга обратила на Кеплера вниманіе, между прочимъ, также вниманіе Тихо Браге, который въ то время былъ въ Вандсбекѣ. Онъ написалъ Кеплеру и пригласилъ его пріѣхать къ себѣ. Впослѣдствіи, благодаря точнымъ наблюденіямъ

---

[1]) Prodromus dissertationum cosmographicarum continens: Mysterium cosmographicum.

http://mathesis.ru

Тихо Браге, Кеплеръ оставилъ эти мало удачныя умозрѣнія; именно послѣднія наблюденія и дали ему возможность открыть истинные законы планетныхъ движеній.

Кеплеръ женился на одной молодой вдовѣ, но долженъ былъ оставить семью въ Грацѣ, такъ какъ молодой эрцгерцогъ Фердинандъ, воспитанникъ іезуитовъ, далъ обѣтъ Св. Дѣвѣ искоренить въ своей странѣ протестантизмъ. Тихо Браге снова пригласилъ Кеплера изъ Праги, когда послѣдній былъ уже въ пути. Мэстлинъ также старался найти ему мѣсто въ Вюртембергѣ, но напрасно. Поэтому Кеплеру пришлось удовлетвориться положеніемъ, предложеннымъ Тихо Браге, который

Рис. 55



Іоганнъ Кеплеръ.

вслѣдствіе своего состоянія въ это время не могъ быть пріятнымъ начальникомъ; не улучшило положенія и то, что, по мнѣнію жены Кеплера, ея мужъ не долженъ былъ принимать этого подчиненнаго положенія.

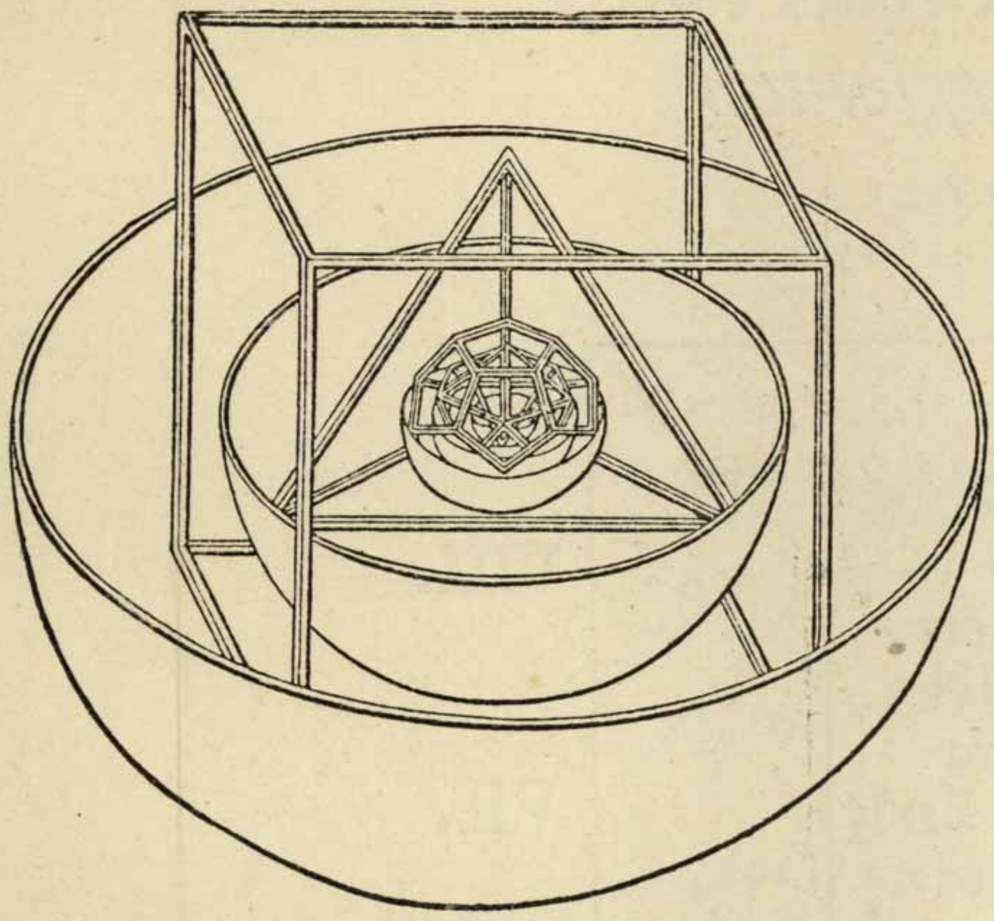
78. Послѣ послѣдовавшей вскорѣ смерти Тихо Браге, Кеплеръ сдѣлался королевскимъ астрономомъ, однако съ жалованіемъ только въ половину того, что получалъ Тихо Браге. Положеніе его отягощалось еще тѣмъ обстоятельствомъ, что королевское казначейство очень часто не было въ состояніи выплачивать Кеплеру содержаніе. Вдова и дѣти Тихо Браге также получили за инструменты несоотвѣтственное вознагражденіе. Вслѣдствіе этого Кеплеръ часто терпѣлъ нужду и, не имѣя денегъ для астрономическихъ инструментовъ, онъ отдавалъ часть своего

http://mathesis.ru

времени на изученіе свѣта и глаза, о чемъ будетъ рѣчь ниже. Къ заботамъ о пропитаніи присоединялись и семейныя. Его мать была запутана въ одинъ процессъ о вѣдьмахъ, жена была душевнобольная и трое изъ его дѣтей умерли.

Подъ гнетомъ такихъ безутѣшныхъ обстоятельствъ Кеплеръ дѣлалъ свои безсмертныя открытія и находилъ тѣ законы, которые навсегда будутъ носить его имя. Изъ вычисленій движенія Марса по результатамъ наблюденій Тихо Браге оказалось, что путь этой планеты есть эллипсъ (рис. 57), въ одномъ изъ фокусовъ котораго лежитъ солнце S. Это подтвердилось и для остальныхъ планетныхъ путей, которые всѣ оказались менѣе растянутыми (эксцентрическими), чѣмъ орбита Марса.

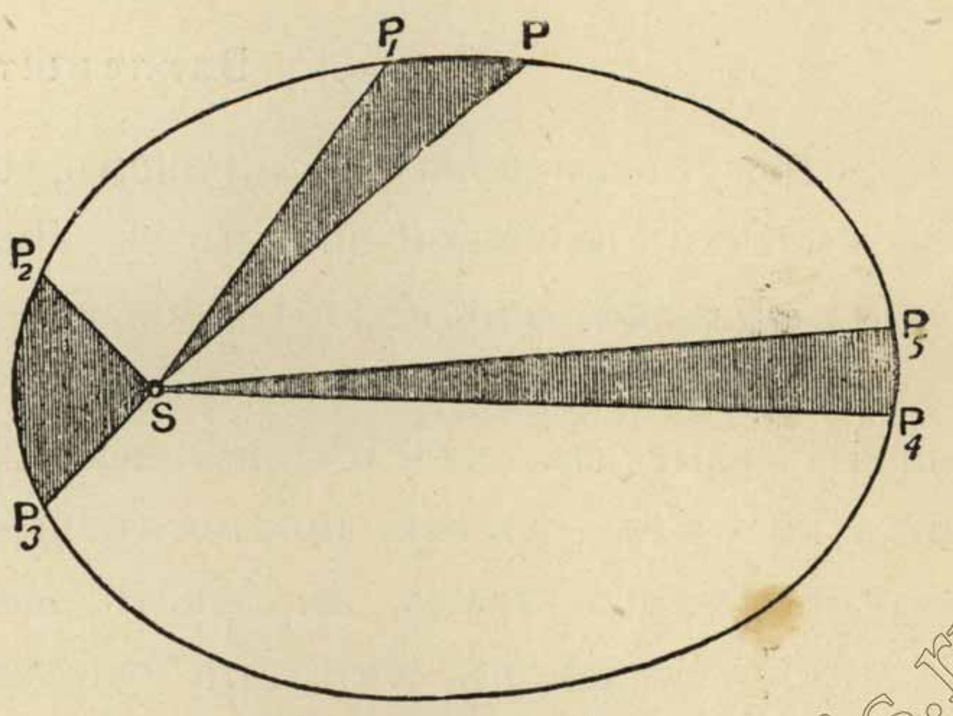
Рис. 56



Правильныя тѣла и планеты.

Второй Кеплеровъ законъ касается скорости планетъ въ различныхъ мѣстахъ ихъ путей. Эта скорость бываетъ наибольшей, когда планета ближе всего къ солнцу, и наименьшей, когда она дальше всего отъ него. Кеплеръ нашелъ, что если вообразить себѣ линію изъ солнца (radius vector) движущейся вмѣстѣ съ планетой, то эта линія въ равныя времена будетъ описывать равныя площади. На нашемъ рисункѣ секторы SPP_1, SP_2P_3 и SP_4P_5 обозначаютъ равныя площади, которыя радіусъ-векторъ описываетъ въ различныхъ мѣстахъ орбиты въ равныя времена. Третій Кеплеровъ законъ даетъ связь между среднимъ разстояніемъ планеты отъ солнца и временемъ ея обращенія. Квадраты временъ обращенія пропорціональны кубамъ среднихъ разстояній. Если принять, напримѣръ, разстояніе земли отъ солнца за единицу длины, а ея время обращенія (годъ) за единицу времени, то для Юпитера разстояніе будетъ 5·2, а время обращенія 11·9. Но $\frac{1^3}{5\cdot 2^3} = \frac{1^2}{11\cdot 9^2}$. Оба знаменателя приблизительно равны 141.

Рис. 57



Планетная орбита.

Первые два закона Кеплеръ опубликовалъ въ „Astronomia nova“ (Прага 1609), третій въ „Harmonices mundi“ (Линцъ 1619).

Три закона Кеплера не только совершенно справедливы, но они содержатъ также совершенно исчерпывающее описаніе пути, скорости, разстоянія отъ солнца и времени обращенія планетъ. Какъ мы увидимъ ниже, они образуютъ основаніе для теоріи силъ, которыя ведутъ планеты по ихъ путямъ и о которыхъ Кеплеръ, повидимому, также догадывался.

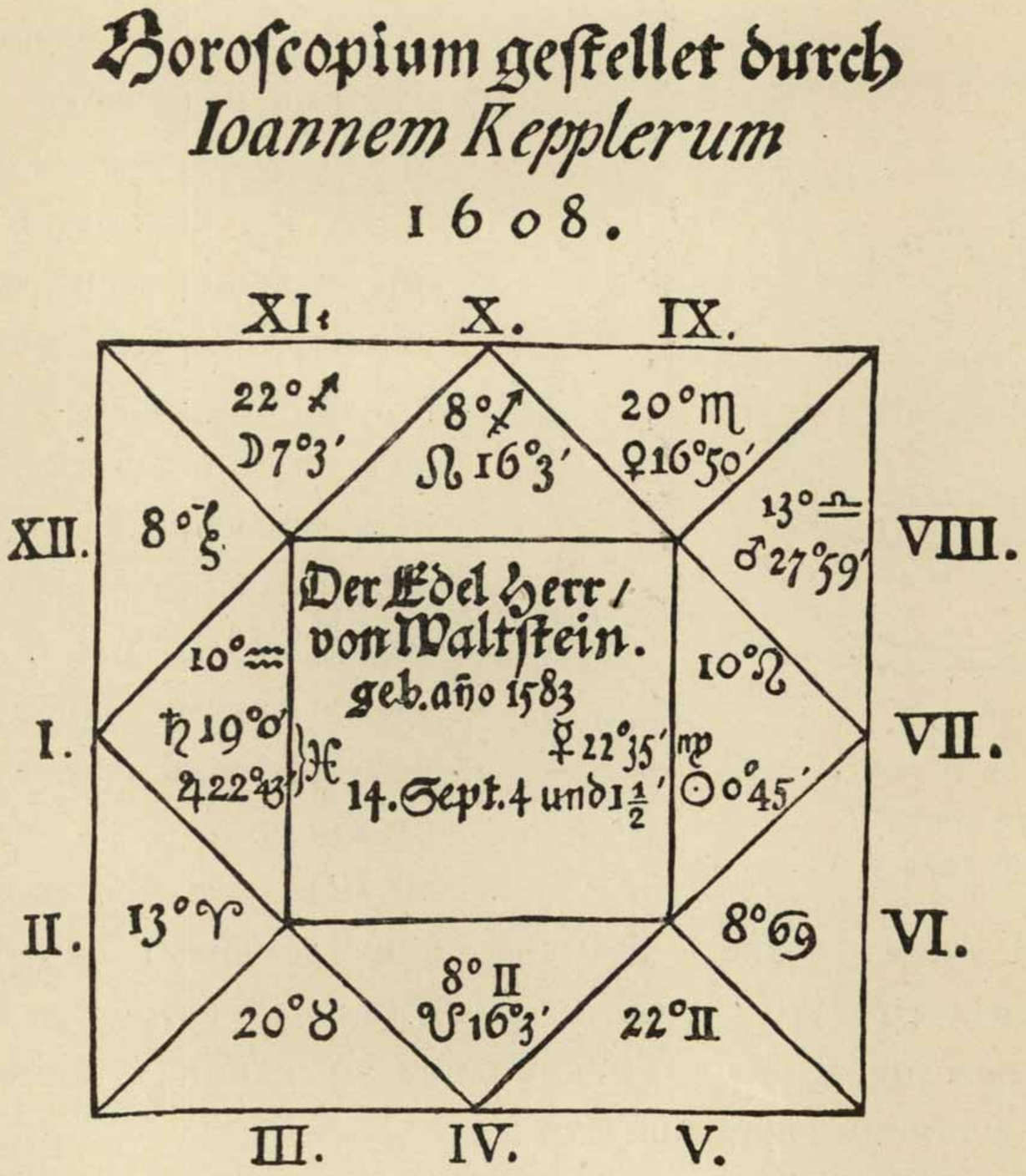
О тѣхъ вспомогательныхъ средствахъ, которыя позволили Кеплеру сдѣлать эти важныя открытія, онъ самъ выражается въ предисловіи къ „Astronomia nova“ слѣду-

http://mathesis.ru

ющимъ образомъ: „Астрономы не умѣли побѣдить этого бога войны (Марса). Но превосходный полководецъ Тихо за 20 лѣтъ ночныхъ бодрствованій раскрылъ его военныя хитрости и я, при помощи бѣга матери-земли, обошелъ всѣ его кривые пути“. Послѣдними словами Кеплеръ, очевидно, указываетъ на то, что онъ дѣлалъ свои вычисленія въ предположеніи движенія земли вокругъ солнца.

74. Несмотря на то, что императоръ предъявлялъ притязанія на услуги Кеплера при различныхъ обстоятельствахъ, напримѣръ, на рейхстагѣ въ Регенсбургѣ для введенія новаго календаря, Кеплеру все время—и раньше и позже—приходилось

Рис. 58



Гороскопъ Валленштейна, составленный Кеплеромъ.

бороться съ лишеніями. Впрочемъ, онъ получилъ нѣсколько лучшее мѣсто учителя математики окружной школы въ Линцѣ, удержавъ и положеніе придворнаго астронома. Однако деньги, обѣщанныя ему императоромъ Фердинандомъ II за опубликованіе Рудольфинскихъ таблицъ, не были выплачены. Императоръ далъ разрѣшеніе взыскать ихъ съ имперскихъ городовъ Нюренберга, Ульма и Мемингена, изъ которыхъ только два послѣднихъ уплатили требуемую сумму. Между тѣмъ печатаніе этого труда въ Ульмѣ началось. За полученіемъ причитывающихся еще 12000 гульденовъ Кеплера отослали къ Валленштейну, получившему въ ленъ Мекленбургъ. Кеплеръ отправился къ Валленштейну, котораго нашелъ въ Заганѣ, въ Шлезіи. Валленштейнъ, приверженецъ астрологіи, принялъ, правда, Кеплера и поручилъ ему составить свой гороскопъ (рис. 58), но о 12 000 гульденовъ не хотѣлъ и слышать. Взамѣнъ того онъ предложилъ Кеплеру профессуру въ Ростокѣ, которую послѣдній, однако, отклонилъ. Приведенный въ отчаяніе этимъ дѣломъ, Кеплеръ направилъ путь въ Регенсбургъ съ цѣлью поддержать тамъ передъ

http://mathesis.ru

рейхстагомъ свои требованія. Здѣсь Кеплеръ умеръ вслѣдствіе тягостей пути спустя нѣсколько дней послѣ своего прибытія, 16 ноября 1630 года. Онъ былъ погребенъ внѣ стѣнъ города; двумя годами позднѣе, при осадѣ и штурмѣ города саксонцами и шведами, его гробница была разбита и слѣды ея потерялись, такъ что мѣсто упокоенія Кеплера остается неизвѣстнымъ. Въ 1808 году князь Дальбергъ воздвигнулъ ему памятникъ въ общественномъ саду, который выходитъ уже за стѣны города. Въ родномъ городѣ Вейлѣ Кеплеру также воздвигнутъ памятникъ (1870). О своемъ трудѣ Кеплеръ самъ (въ Harmonices mundi, въ концѣ главы IX пятой книги) выражается слѣдующимъ образомъ: „Благодарю Тебя, Господь и Творецъ, что Ты далъ мнѣ наслаждаться Твоимъ твореніемъ и ликовать о дѣлахъ рукъ Твоихъ. Я открылъ людямъ великолѣпіе Твоихъ твореній, посколько могъ охватить ихъ безконечность мой ограниченный разумъ. Если я сказалъ что-либо недостойное Тебя или искалъ у людей славы для себя, то милосердно прости мнѣ“.

http://mathesis.ru

http://mathesis.ru

Свѣтъ

Отъ древнѣйшихъ временъ до Ньютона

http://mathesis.ru

http://mathesis.ru

Свѣтъ

75. Первымъ проявленіемъ сознанія у ребенка является способность „видѣть“, т. е. знать, что въ томъ направленіи, по которому приходитъ свѣтъ, находится какой-то предметъ. Ребенокъ научается этому, безъ сомнѣнія, только изъ опыта и эту способность нельзя считать врожденной. Въ доказательство вѣрности этого можно привести тотъ фактъ, что одинъ французъ, у котораго вѣки были срощены отъ рожденія и затѣмъ были раскрыты при помощи операціи, когда ему было уже болѣе тридцати лѣтъ, сначала не ощущалъ при этомъ ничего особеннаго и ему пришлось учиться видѣть.

Тысячи опытовъ постоянно внушаютъ намъ и укрѣпляютъ убѣжденіе, что въ томъ направленіи, въ которомъ мы видимъ что-нибудь, дѣйствительно что-то находится. Беря въ руки какой-нибудь предметъ или касаясь его, мы всякій разъ получаемъ новое подтвержденіе этого. И потому-то врядъ ли существуютъ лучшіе способы вызвать совершенный обманъ чувствъ, чѣмъ тѣ, въ которыхъ свѣтъ отъ предмета—при помощи, напримѣръ, средствъ, упоминаемыхъ ниже,—попадаетъ въ глазъ не прямымъ, а какимъ-либо инымъ путемъ.

Мы часто пользуемся на практикѣ прямолинейностью распространенія свѣта, когда желаемъ добиться большой точности. „Визируя“ по двумъ точкамъ на третью, мы основываемся на томъ, что три точки должны лежать на одной прямой, разъ онѣ кажутся намъ лежащими на одной и той же визирной линіи. Такъ именно топографъ убѣждается въ томъ, что его вѣхи поставлены по прямой, столяръ повѣряетъ правильность какого-нибудь ребра: они смотрятъ, лежатъ ли на одной и той же визирной линіи всѣ нужныя имъ точки или нѣтъ.

Въ основѣ всего этого лежитъ тотъ фактъ, что свѣтъ распространяется прямолинейно. Это положеніе было высказано греками уже въ V вѣкѣ до Р. Х. И подобно тому, какъ безсознательное воспріятіе этого положенія составляетъ первое проявленіе сознанія у ребенка, такъ и первая сознательная формулировка его представляетъ первый примѣръ установленія закона природы. Подъ закономъ природы мы понимаемъ здѣсь краткое и точное выраженіе общаго въ многообразіи явленій, въ остальномъ, быть можетъ, чрезвычайно различныхъ.

76. Установленіе этого закона представляетъ превосходный примѣръ всей важности того шага, который дѣлается при переходѣ отъ безсознательнаго приложенія закона къ его сознательной формулировкѣ.

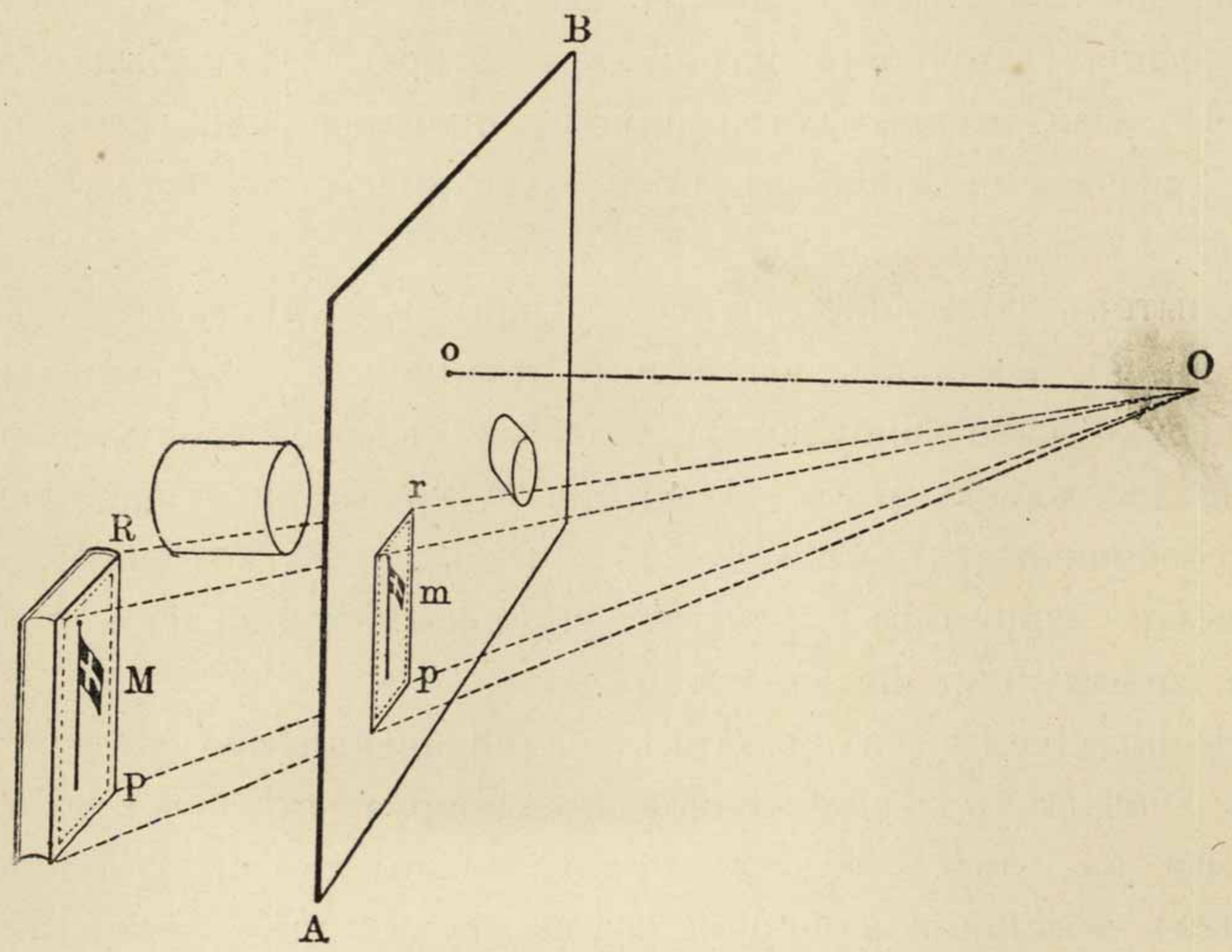
При представленіяхъ греческихъ трагедій въ V столѣтіи до Р. Х. пользовались неглубокой сценой. Чтобы лучше воздѣйствовать на фантазію, греки зарисовывали задній фонъ сцены; при этомъ они рисовали не такія картины, которыя точно изображали

http://matnesis.ru

какое-нибудь дѣйствіе или работу, какъ это мы находимъ у болѣе древнихъ народовъ, напримѣръ, у халдеевъ и египтянъ, а представляли дома и т. п.; при этомъ они, однако, не гнались за точностью деталей, а старались лишь вызвать иллюзію у зрителей, вниманіе которыхъ должно было обращаться главнымъ образомъ на актеровъ; фонъ долженъ былъ производить впечатлѣніе, будто позади актеровъ находятся настоящіе дома.

Въ такой приблизительно формѣ представилъ эту задачу Агаѳаркъ и въ такомъ видѣ рѣшали ее Анаксагоръ и Демокритъ, которые построили ученіе о перспективѣ исключительно на томъ положеніи, что свѣтъ распространяется по прямой линіи. Демокритъ написалъ также „ученіе о прямой линіи“, которое, къ сожалѣнію, не дошло до насъ и, вѣроятно, было посвящено законамъ перспективы.

Рис. 59



Начало перспективы.

Основу перспективы составляетъ слѣдующее: если провести отъ различныхъ точекъ предмета RMP линіи къ глазу O, то глазъ получаетъ свѣтъ по направленіямъ RO, MO и PO. Но съ какого разстоянія приходитъ этотъ свѣтъ, глазъ непосредственно не ощущаетъ. Поэтому, будетъ ли свѣтъ исходить изъ точки R или изъ точки r доски, онъ долженъ производить одно и то же дѣйствіе. Такимъ образомъ, искусство здѣсь состоитъ въ томъ, чтобы дать на доскѣ такой рисунокъ, который посылалъ бы глазу свѣтъ такъ, какъ посылаетъ его самъ предметъ; для этого свѣтъ отъ рисунка долженъ выходить изъ тѣхъ точекъ его, въ которыхъ линіи зрѣнія къ дѣйствительному предмету пересѣкали бы плоскость рисунка. Для этого служитъ цѣлый рядъ математическихъ положеній, которыя составляютъ ученіе о перспективѣ; но мы не можемъ входить здѣсь въ дальнѣйшія детали. Такимъ образомъ, законъ прямолинейнаго распространенія свѣта составляетъ основаніе цѣлой науки.

Въ области естествознанія главную силу грековъ составляла по преимуществу мыслительная работа. Имъ были извѣстны только немногіе законы природы, но ихъ

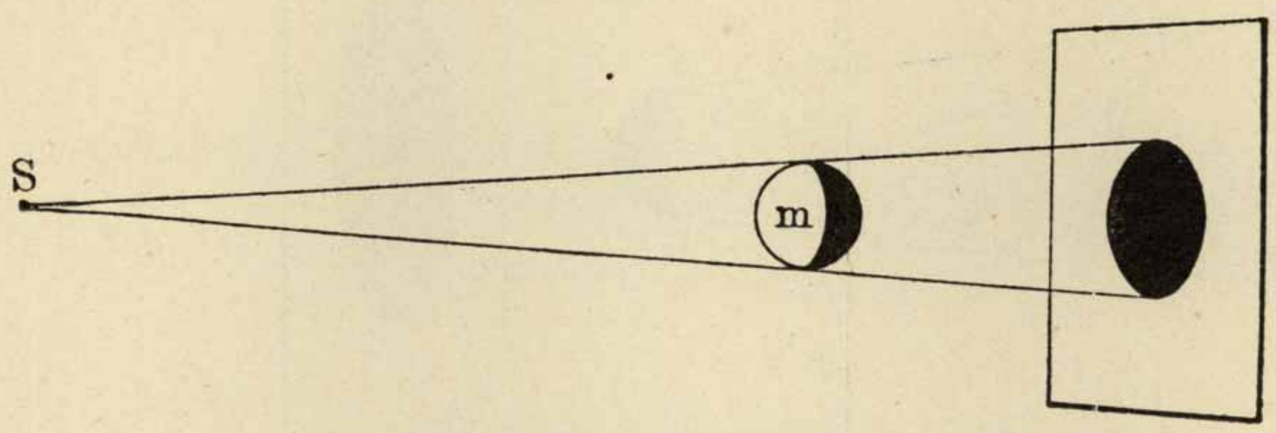
http://mathesis.ru

способность использовать тѣ немногіе куски благороднаго металла, которые они находили, будетъ возбуждать удивленіе во всѣ времена.

77. Другую отрасль науки, близкую къ перспективѣ, составляетъ ученіе о тѣняхъ, основанное на томъ же законѣ природы.

Свѣтовые лучи расходятся отъ свѣтящейся точки S по прямымъ линіямъ. Часть ихъ, вправо отъ источника свѣта (рис. 60), попадаетъ на экранъ и освѣщаетъ его; однако, тѣ лучи, которые падаютъ на тѣло m, не достигаютъ экрана и на послѣднемъ получается неосвѣщенное мѣсто, такъ называемая тѣнь тѣла. Пространство между нею и самимъ тѣломъ также называется его тѣнью. Для того, чтобы начертить тѣнь отъ какого-нибудь предмета, нужно, такимъ образомъ, провести изъ свѣтящейся точки S

Рис. 60



Образованіе тѣни.

прямыя линіи, которыя касаются тѣла, и найти точки, въ которыхъ эти линіи встрѣчаютъ экранъ или другую поверхность. Способы рѣшенія этой задачи и составляютъ содержаніе ученія о тѣняхъ.

Если источникомъ свѣта является не точка, а цѣлое тѣло (рис. 61), то изъ каждой его точки нужно провести линіи, касающіяся тѣла, отбрасывающаго тѣнь. Каждая точка свѣтящагося тѣла образуетъ тѣнь. Всѣ эти тѣни болѣе или менѣе налагаются другъ на друга. На иныя мѣста (черное пятно) не попадаетъ никакого свѣта, тогда какъ на другія мѣста (полутемныя) попадаетъ часть свѣтовыхъ лучей. На первомъ мѣстѣ образуется ядро тѣни, а на другихъ полутѣнь (слово „полу“ не слѣдуетъ понимать буквально). Если свѣтящееся тѣло больше предмета, отбрасывающаго тѣнь, то съ удаленіемъ экрана поперечникъ ядра тѣни уменьшается. Если экранъ удалится по ту сторону точки e, то на немъ вовсе не получится ядра тѣни. Напротивъ того, полутѣнь съ удаленіемъ экрана увеличивается; увеличивается также и ядро тѣни, если свѣтящееся тѣло меньше того, которое отбрасываетъ тѣнь.

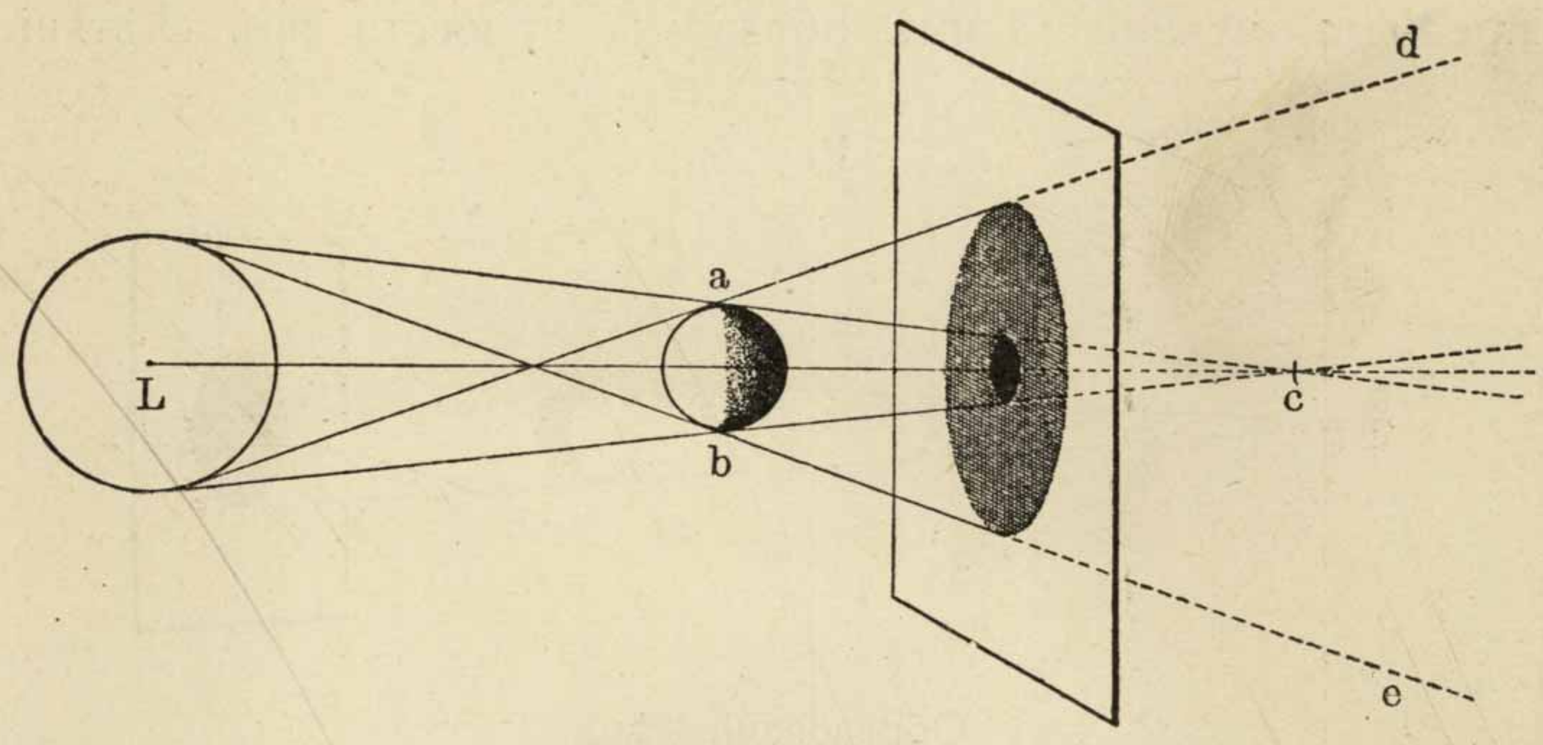
78. Повидимому, у грековъ существовали различныя мнѣнія относительно того, обусловленъ ли процессъ зрѣнія чѣмъ-нибудь такимъ, что̀ исходитъ изъ глаза, или же тѣмъ, что̀ исходитъ изъ самого свѣтящагося предмета. Аристотель придерживается послѣдняго взгляда, а именно, что свѣтъ есть дѣйствіе, которое исходитъ изъ предмета и дѣйствуетъ на глазъ, такъ какъ иначе можно было бы видѣть одинаково хорошо и въ темнотѣ и на свѣту. Нѣсколькимъ философамъ приписывается мнѣніе, что это дѣйствіе исходитъ изъ глаза, но приписывается, можетъ быть, просто по недоразумѣнію. Въ ученіи о перспективѣ прямыя линіи проводятся отъ глаза къ различнымъ точкамъ предмета и если, быть можетъ, Демокритъ въ своемъ „Ученіи о прямой линіи“ такъ именно и выражался, то отсюда не слѣдуетъ, что онъ этимъ утверждалъ, будто свѣтовой или зрительный эффектъ распространяется именно

http://mathesis.ru

этимъ путемъ. Въ самомъ дѣлѣ, для изложенія ученія о перспективѣ совершенно безразлично, въ какомъ направленіи идетъ свѣтъ; здѣсь имѣетъ значеніе только прямолинейность его распространенія и больше ничего. И удобнѣе всего рисовать линіи зрѣнія, начиная съ глаза.

Если такой человѣкъ, какъ Птолемей, говорилъ о лучахъ, какъ о чемъ-то, исходящемъ изъ глаза, то это происходило, можетъ быть, только потому, что въ то время совершенно ничего не было извѣстно о направленіи, въ которомъ распростра-

Рис. 61



Тѣнь и полутѣнь.

няется свѣтъ. Птолемей описываетъ эти явленія съ такой математической простотой, какая только возможна; такимъ же образомъ онъ и движенія небесныхъ тѣлъ представлялъ себѣ такъ, какъ они кажутся глазу.

Если Платонъ думалъ, что въ этомъ случаѣ долженъ дѣйствовать и предметъ и глазъ, то онъ могъ привести доказательство подобное тому, какое давалъ Аристотель, а именно, что нельзя видѣть безъ свѣта, но нельзя также видѣть и безъ глаза.

Только сравнительно недавно, уже въ новѣйшее время удалось опредѣлить опытнымъ путемъ, въ какомъ именно направленіи распространяется свѣтъ. Въ подобныхъ вопросахъ одно философствованіе не можетъ рѣшить дѣла.

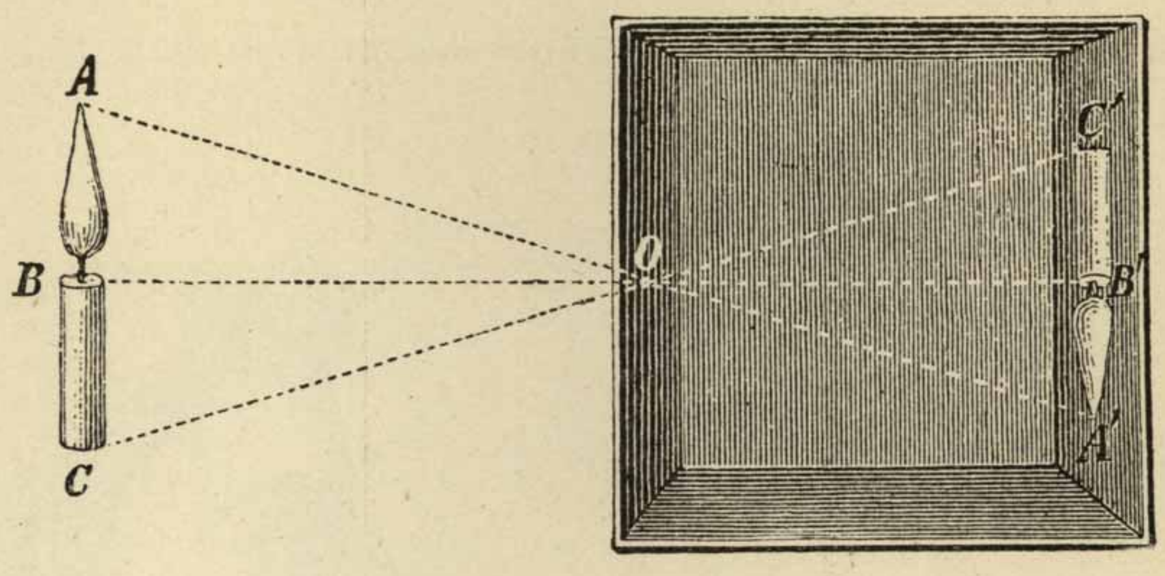
79. Другія явленія, которыя также находятъ себѣ объясненіе въ прямолинейномъ распространеніи свѣта, представляетъ камера-обскура. Ящикъ или комната устраивается такъ, что свѣтъ можетъ входить въ нихъ только черезъ одно маленькое отверстіе O (рис. 62) Въ такомъ случаѣ на противоположной стѣнкѣ получаются изображенія предметовъ, которые находятся передъ отверстіемъ. Свѣтъ, выходящій изъ точки A предмета и вступающій въ отверстіе O, попадаетъ на точку A' и освѣщаетъ ее. Такимъ же образомъ лучи, исходящіе изъ B и C, попадаютъ на стѣнку въ точкахъ B' и C'. Значитъ, получаемое изображеніе будетъ обратнымъ (перевернутымъ). Оно будетъ одинаковой величины съ самимъ предметомъ, если оно получается на томъ же разстояніи отъ отверстія, на которомъ находится предметъ; если разстояніе изображенія отъ отверстія будетъ больше или меньше разстоянія предмета, то оно соотвѣтственно будетъ больше или меньше самого предмета.

Вообще такое изображеніе не будетъ очень яркимъ, такъ какъ сквозь отверстіе можетъ проходить лишь небольшое количество свѣта отъ каждой точки пред-

http://mathesis.ru

мета. Если увеличить отверстіе, то свѣтъ, исходящій изъ какой-нибудь точки предмета, будетъ освѣщать большее мѣсто на стѣнѣ и притомъ больше, чѣмъ само отверстіе. Въ этомъ случаѣ, конечно, также получается изображеніе, но оно не отличается рѣзкостью, такъ какъ для рѣзкости необходимо, чтобы каждая точка предмета передавалась въ изображеніи точкой же, а не болѣе или менѣе значительнымъ пятномъ свѣта. Поэтому-то отверстіе не должно быть слишкомъ велико. Такое изображеніе можно видѣть очень ясно, несмотря на незначительную яркость его, если пробыть нѣсколько времени въ темнотѣ, такъ какъ тогда глазъ дѣлается чувствительнѣе къ тонкимъ оттѣнкамъ свѣта.

Рис. 62



Простая камера-обскура.

80. Достовѣрно неизвѣстно, кто первый сталъ пользоваться камерой-обскурой. О ней говоритъ Роджеръ Бэконъ; можетъ быть, онъ и изобрѣлъ ее. Это былъ одинъ изъ первыхъ крупныхъ людей въ новыхъ европейскихъ университетахъ. Онъ много занимался изслѣдованіемъ свѣта.

Роджеръ Бэконъ былъ сынъ состоятельныхъ родителей; родился онъ въ 1214 г. въ городкѣ Ильчестерѣ (Сомерсетъ). Сначала въ Оксфордѣ, а затѣмъ въ Парижѣ онъ учился латинскому, греческому, еврейскому, арабскому языкамъ, а позднѣе математикѣ, астрономіи и естествознанію. Какъ очень ученый человѣкъ, онъ получилъ мѣсто преподавателя въ Оксфордѣ. Подобно большинству ученыхъ того времени, онъ былъ монахомъ. Невѣжество и безнравственность его собратьевъ по ордену (францисканцевъ) возбудили его неудовольстіе и онъ не удержался отъ упрековъ по ихъ адресу на этотъ счетъ. Кромѣ того, онъ имѣлъ неосторожность открыто заявлять, что сочиненія Аристотеля мѣшаютъ всякому прогрессу; онъ будто бы даже выразился, что „еслибы могъ, то сжегъ всѣ сочиненія Аристотеля“. А такъ какъ, кромѣ того, онъ занимался такими вещами, которыя были непонятны его современникамъ (камера-обскура), то врагамъ нетрудно было обвинить Бэкона въ магіи и ереси, за что онъ и былъ брошенъ въ тюрьму. Правда, въ 1265 г., когда на папскій престолъ взошелъ одинъ изъ его покровителей, Климентъ IV, онъ былъ освобожденъ, но только на нѣсколько лѣтъ. Въ это время онъ написалъ свое „Opus majus“ о природѣ; въ этой книгѣ Бэконъ хотѣлъ дать доказательство, что онъ занимался только обыкновенными вещами. Повидимому, Бэконъ также первый выступилъ съ предложеніемъ объ улучшеніи календаря, на что, однако, Климентъ IV не отважился. Время для такихъ улучшеній пришло только триста лѣтъ спустя.

Въ 1278 г. Бэконъ по требованію генерала ордена францисканцевъ былъ снова осужденъ во Франціи, гдѣ онъ въ то время жилъ, и снова былъ заключенъ въ тюрьму. Его выпустили на свободу только въ 1288 г. Послѣднія четыре или шесть лѣтъ жизни онъ провелъ въ Оксфордѣ и, повидимому, сожалѣлъ о томъ, что отдалъ такъ много труда дѣлу науки.

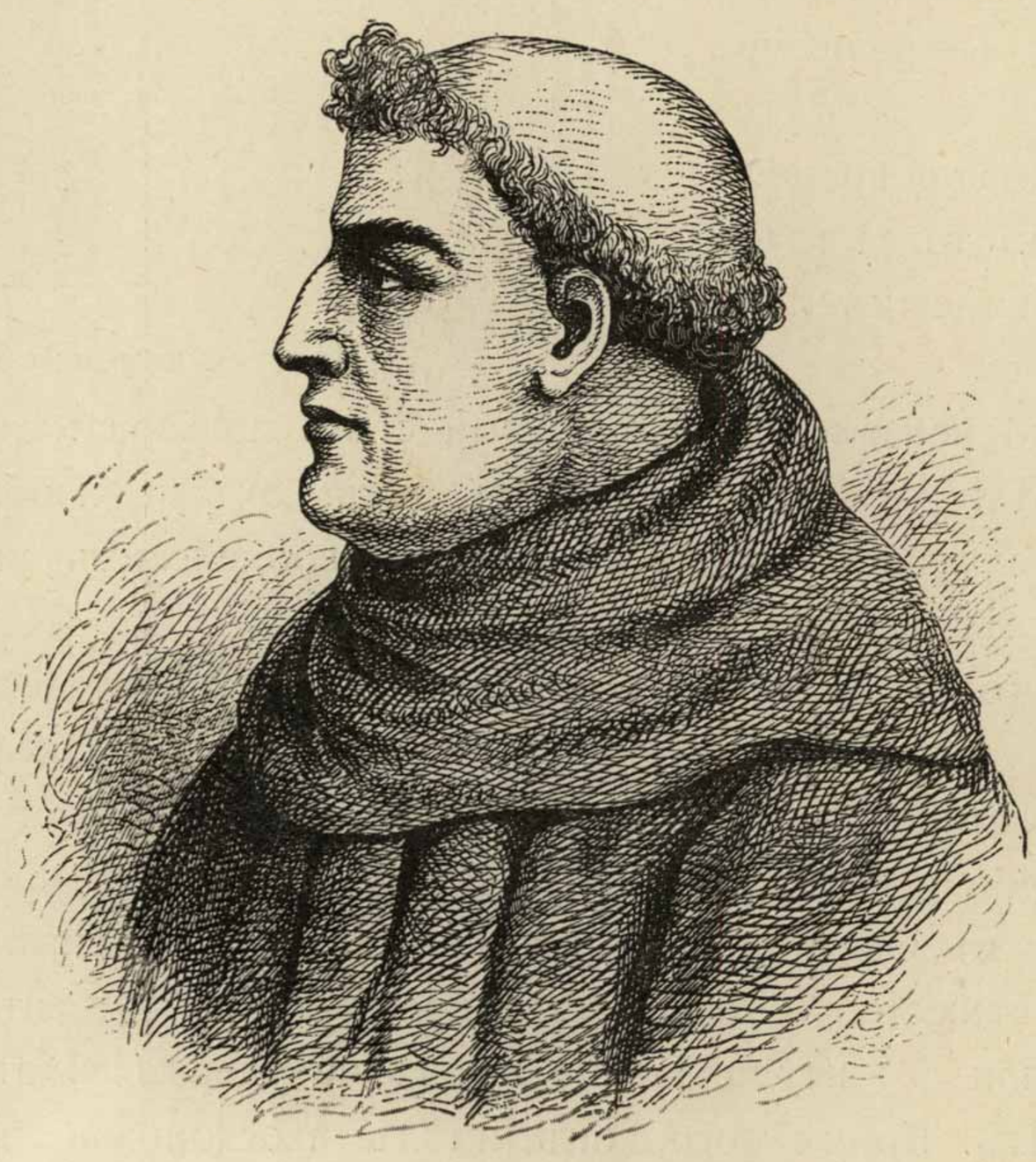
„Великій трудъ“ Бэкона — удивительная книга. По многимъ вопросамъ онъ не даетъ подробныхъ объясненій, ограничиваясь только общими указаніями. Но эти ука-

http://mathesis.ru

занія идутъ такъ далеко, что иные видѣли въ нихъ открытіе телескопа, воздушнаго шара, движущейся паромъ телѣги и т. п. Между прочимъ, въ ученіи о свѣтѣ въ этой книгѣ упоминается также камера-обскура.

81. Позднѣе камерой-обскурой пользовались для астрономическихъ цѣлей. Именно, Тихо Браге и позже Кеплеръ употребляли ее для полученія изображенія солнца. Измѣряя поперечникъ этого изображенія и разстояніе его отъ отверстія камеры, они опредѣляли уголъ зрѣнія (видимую величину) солнца. Камерой-обскурой пользо-

Рис 63



Роджеръ Бэконъ.

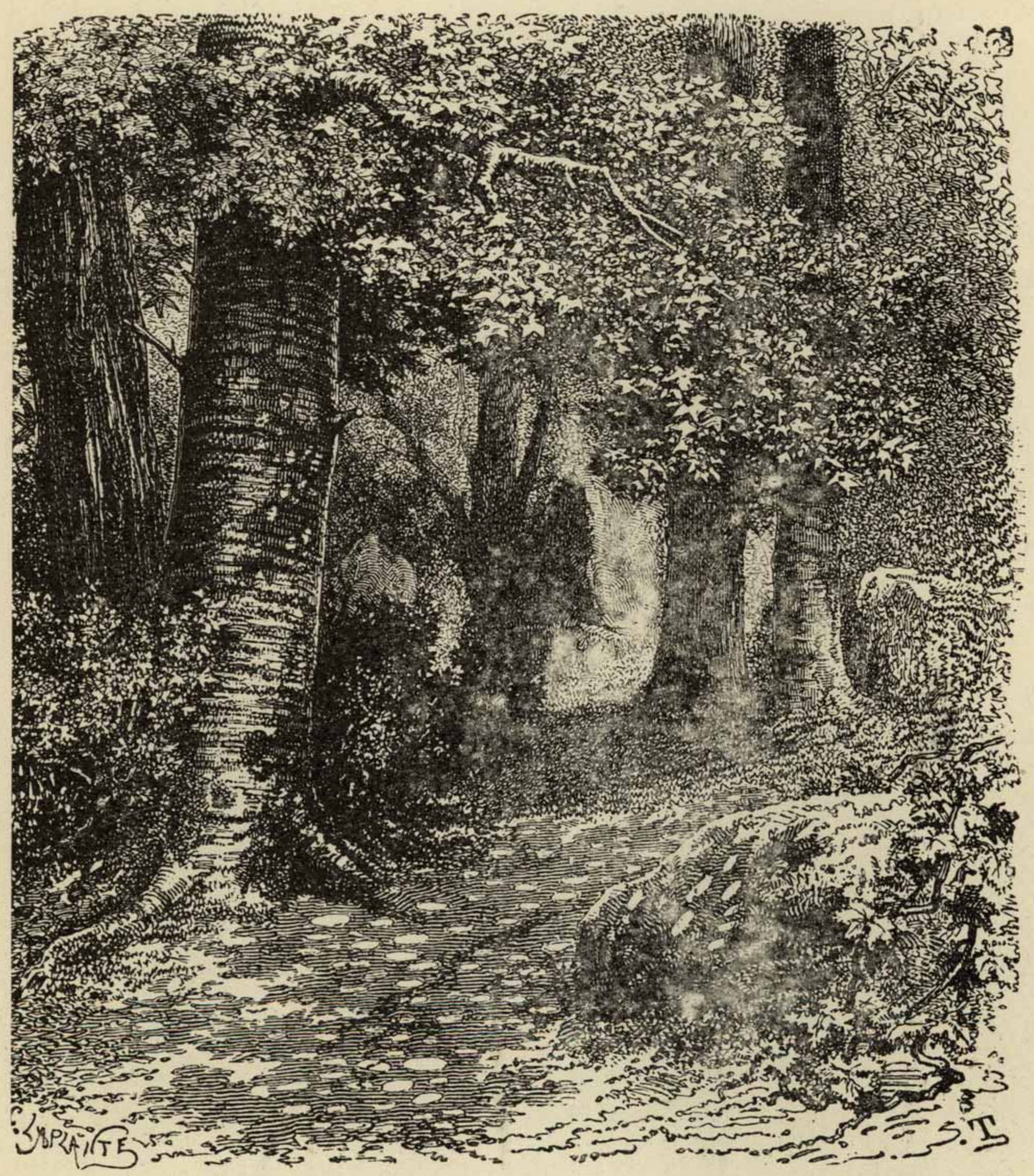
вались также для измѣренія величины покрытой части солнца или луны во время затменій. Кеплеръ наблюдалъ даже на такомъ изображеніи солнца пятно, которое принялъ (ошибочно) за Меркурія.

Въ лѣсахъ съ высокими деревьями и густой листвой въ ясные дни часто можно наблюдать удлиненныя свѣтлыя пятна на землѣ (рис. 64). Это—изображенія солнца, полученныя при помощи камеры-обскуры, отверстіемъ которой является какой-нибудь просвѣтъ между листьями, а экраномъ служитъ земля. Форма отверстія не играетъ здѣсь большой роли, если только оно достаточно мало. Безчисленное количество маленькихъ пятенъ свѣта, которыя отвѣчаютъ безконечному числу точекъ предмета, въ общемъ все-таки даютъ изображеніе предмета при всякой формѣ отверстія. Это объясненіе было дано еще греческимъ философомъ Мавроликомъ. Причиной овальной, а не круглой формы этихъ пятенъ является то обстоятельство, что поверхность земли наклонена къ направленію лучей солнца. Но если подставить подъ лучи какую-нибудь плоскость перпендикулярно къ ихъ направленію, то на ней изображенія получатся круглыми. Если солнце отчасти закрыто, то соотвѣтственно будутъ, разумѣется, измѣнены и его изображенія.

http://mathesis.ru

82. Прямолинейнымъ распространеніемъ свѣта объясняется убываніе его яркости съ удаленіемъ отъ источника свѣта. Въ самомъ дѣлѣ, количество свѣта, выходящаго изъ источника A (рис. 65), которое падаетъ на квадратный экранъ на извѣстномъ разстояніи отъ A, при двойномъ разстояніи придется на экранъ съ вдвое большей стороной, т. е. на поверхность, вчетверо большую; при тройномъ разстояніи оно покроетъ экранъ съ втрое большей стороной, имѣющій, слѣдовательно, поверхность въ девять разъ большую, и т. д. Значитъ, экранъ одной и той же величины на двойномъ, тройномъ и т. д. разстояніи будетъ получать свѣта въ четыре, въ девять

Рис. 64



Изображенія солнца на землѣ въ лѣсу.

и т. д. разъ меньше, чѣмъ первоначально. Такимъ образомъ, яркость свѣта на двухъ различныхъ разстояніяхъ отъ его источника обратно пропорціональна квадратамъ этихъ разстояній.

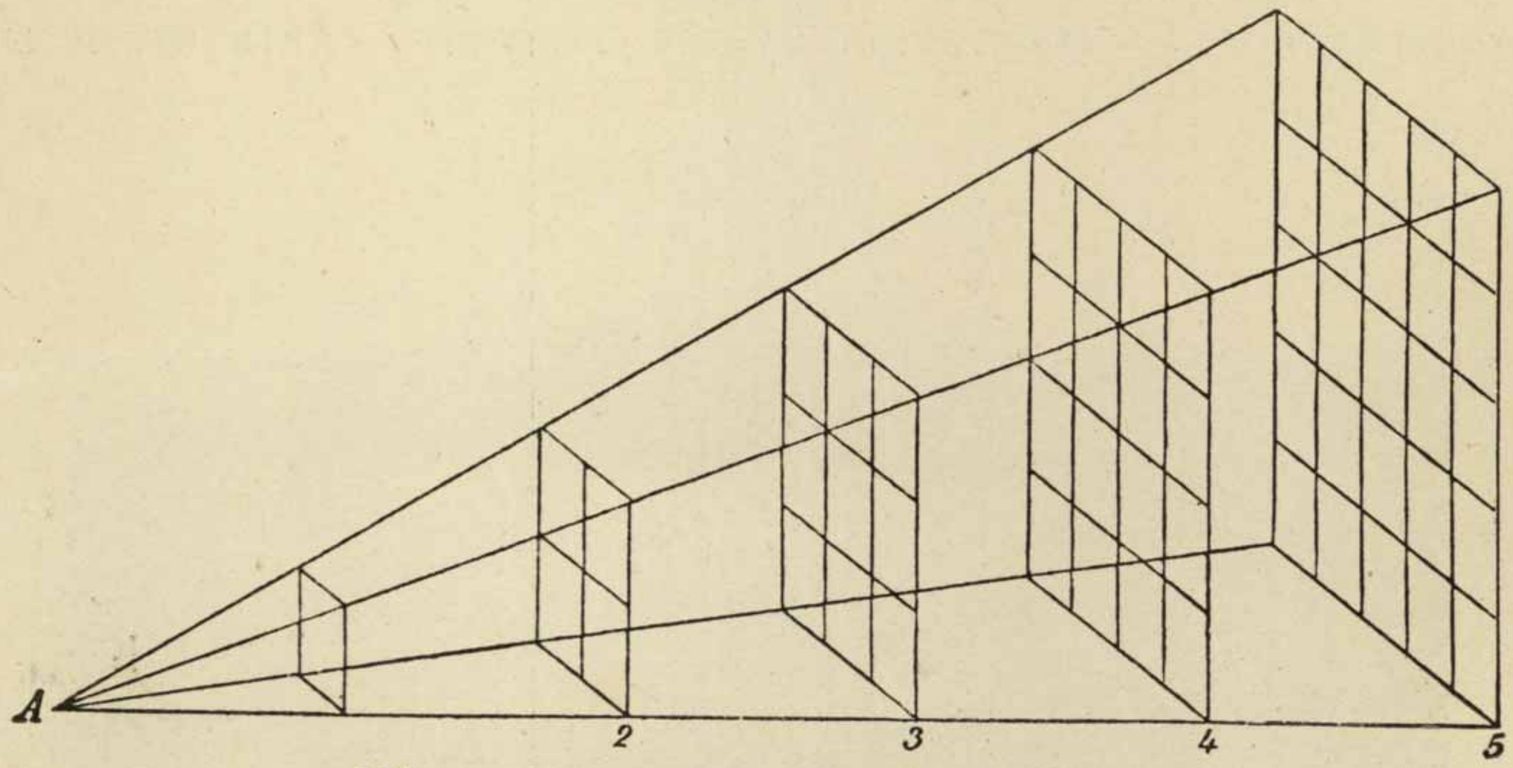
Примѣръ. Если я могу, хотя бы съ трудомъ, читать книгу на разстояніи 4 *м* отъ источника свѣта, то для того, чтобы читать ее на разстоянія 12 *м* отъ источника свѣта, послѣдній нужно усилить въ 9 разъ.

Законъ убыванія яркости, разумѣется, остается правильнымъ только при предположеніи, что свѣтъ по пути не поглощается.

http://mathesis.ru

83. Для того, чтобы сравнить между собою силу свѣта двухъ источниковъ, можно помѣстить ихъ на такомъ разстояніи отъ экрана, чтобы они освѣщали его одинаково ярко. По Румфорду (1753—1814) для этого заставляютъ оба источника отбрасывать на экранъ тѣнь какого-нибудь стержня (рис. 66). Если дѣйствіе этихъ двухъ источниковъ свѣта не одинаково, то и полученныя тѣни будутъ не одинаково

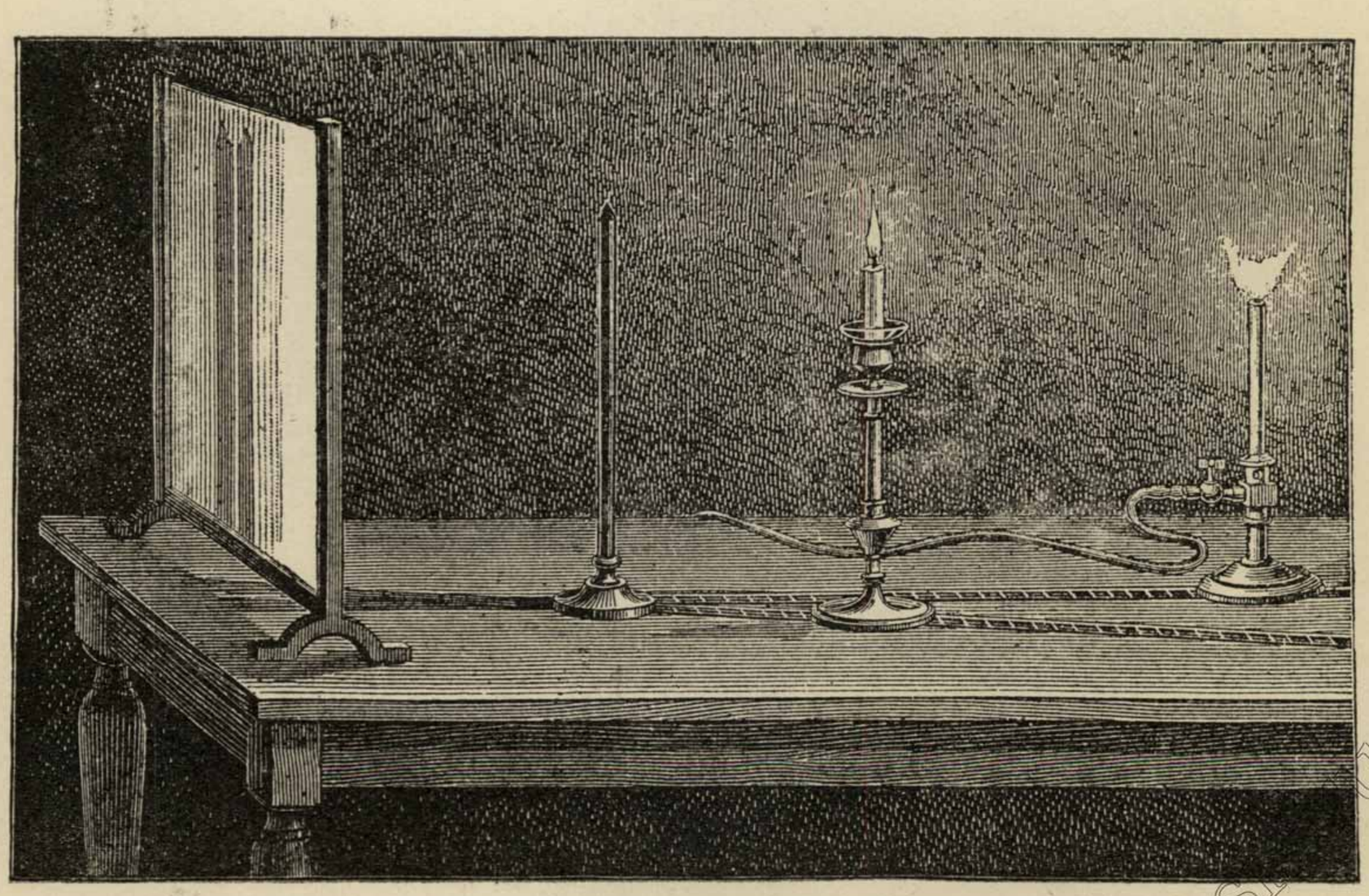
Рис. 65



Убываніе яркости съ разстояніемъ.

темны. Тогда нужно отодвинуть тотъ источникъ свѣта, который даетъ болѣе темную тѣнь, или приблизить другой, пока обѣ тѣни не станутъ одинаковыми. Силы свѣта этихъ источниковъ будутъ относиться между собою, какъ квадраты ихъ разстояній отъ экрана.

Рис. 66



Сравненіе яркостей.

Примѣръ 1. Стеариновая свѣча на разстояніи 60 *см* и керосиновая лампа на разстояніи 210 *см* даютъ одинаковыя тѣни. Сколько свѣчей можетъ замѣнить собою керосиновая лампа?

http://mathesis.ru

Примѣръ 2. Освѣщеніе, которое даетъ луна, равно освѣщенію отъ восковой свѣчи на разстояніи 3 *м* отъ стѣны. Во сколько разъ луна ярче восковой свѣчи? (Отв. 16×10^{15}).

Примѣръ 3. Круглое отверстіе камеры-обскуры имѣетъ въ діаметрѣ 0·5 *мм*, а изображеніе солнца на ея противоположной стѣнкѣ имѣетъ поперечникъ 5 *см*. Такимъ образомъ, послѣднее въ 100 разъ больше перваго. Значитъ, яркость этого изображенія въ 10 000 разъ меньше той яркости, которую даетъ непосредственно солнце. Если восковая свѣча на разстояніи 40 *см* отъ стѣнки даетъ такую же яркость, какую имѣетъ изображеніе солнца, то сколько свѣчей нужно помѣстить на разстояніи солнца, чтобы произвести такой же свѣтовой эффектъ?

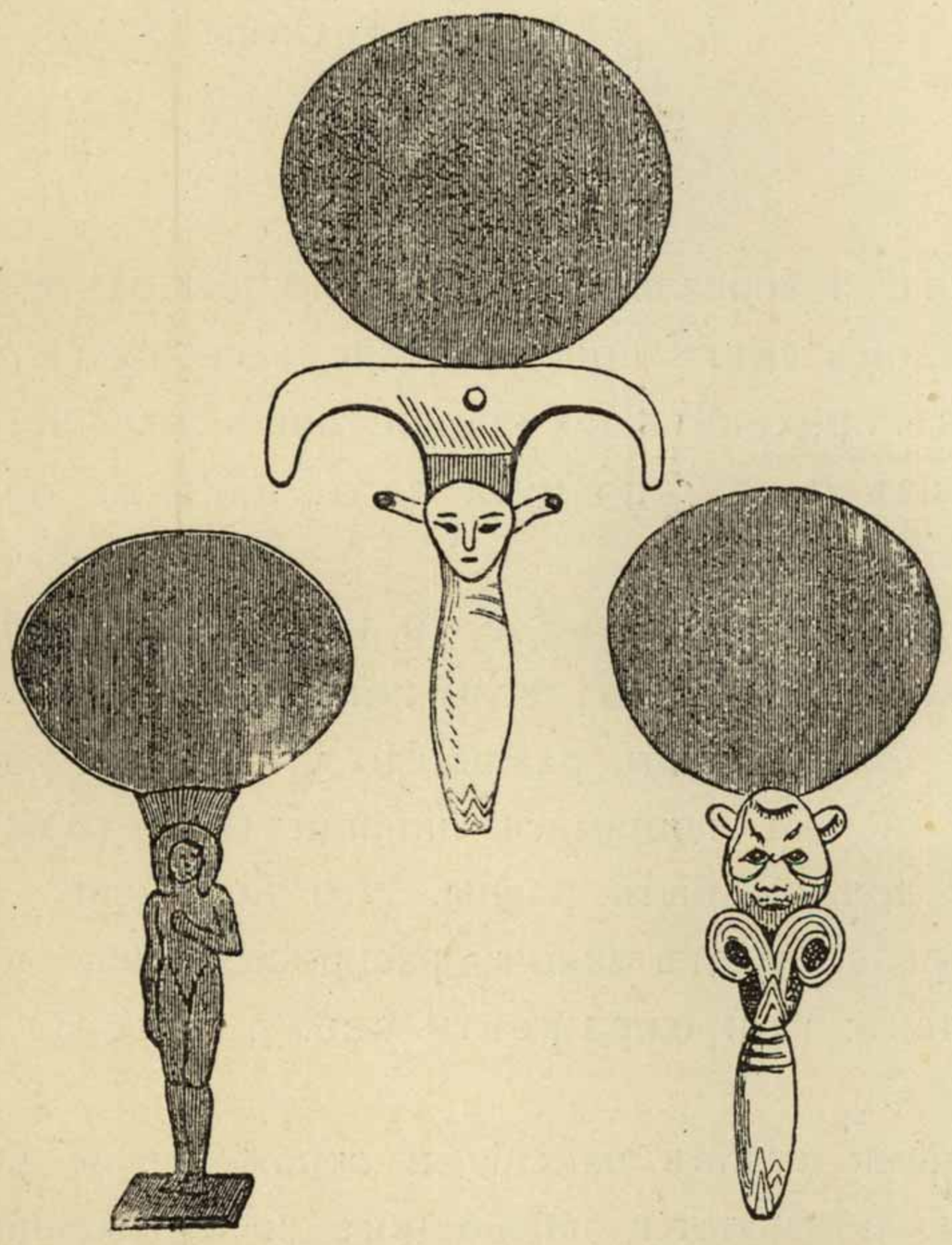
Примѣръ 4. Во сколько разъ свѣтъ солнца на землѣ ярче луннаго?

Примѣръ 5. Во сколько разъ солнце испускаетъ свѣта больше, чѣмъ луна?

84. Яснымъ пониманіемъ второго закона, къ которому мы теперь переходимъ, мы также обязаны грекамъ, хотя человѣческій опытъ въ этомъ отношеніи такъ же старъ, какъ и человѣческій родъ.

Для того, чтобы замѣтить, что предметы отражаются въ спокойной водѣ, не требовалось высокой культуры. Но намъ извѣстно также, что древнѣйшіе культурные народы имѣли уже искусственныя металлическія зеркала. Въ египетскихъ гробницахъ возлѣ мумій были найдены мѣдныя зеркала, у Гомера встрѣчаются указанія на золотыя зеркала, а римляне употребляли уже въ древнѣйшія времена зеркала изъ бронзы, въ началѣ же нашей эры зеркала изъ золота и серебра.

Рис. 67



Древнеегипетскія металлическія зеркала.

Хорошей смѣсью для металлическихъ зеркалъ является сплавъ $68^1/_2\,\%$ мѣди съ $31^1/_2\,\%$ олова. Добавленіе небольшого количества свинца дѣлаетъ этотъ сплавъ болѣе удобнымъ для обработки, а прибавка къ нему небольшого количества мышьяку сообщаетъ ему болѣе свѣтлую окраску.

У финикіянъ были въ употребленіи шлифованныя зеркала изъ темнаго стекла. Прозрачное стекло, на задней сторонѣ покрытое свинцомъ, вошло въ употребленіи врядъ ли раньше XIII вѣка по Р. Х. Покрывать стекло на задней сторонѣ амальгамой (изъ олова и ртути) стали въ XIV столѣтіи. Кто былъ изобрѣтателемъ этихъ двухъ способовъ, осталось неизвѣстнымъ. Вѣроятно, это были ремесленники. Въ послѣднее время амальгамированныя зеркала все больше и больше вытѣсняются посеребренными.

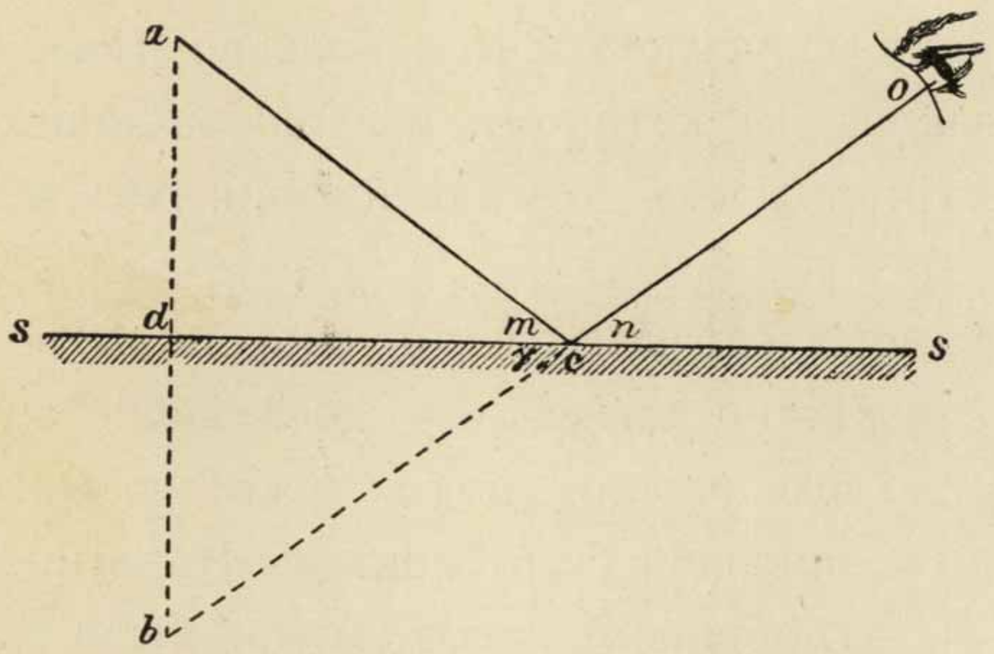
85. Непосредственный опытъ учитъ, что плоское зеркало даетъ изображеніе, которое лежитъ позади зеркала на такомъ же разстояніи отъ него, на какомъ самъ предметъ находится передъ нимъ, считая по перпендикуляру къ зеркалу.

http://matheslib.ru

Поэтому всякое озеро или прудъ съ спокойной поверхностью даетъ изображеніе болѣе высокихъ предметовъ на такой глубинѣ подъ поверхностью воды, которая равна высотѣ самого предмета надъ нею.

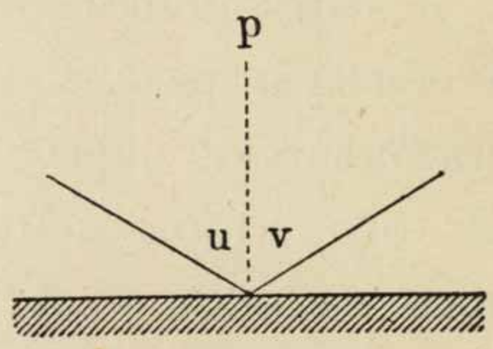
Но только греки въ V или IV вѣкѣ до Р. Х., повидимому, правильно поняли законъ отраженія. Если a (рис. 68) есть свѣтящаяся точка, $s\,s$ поверхность зеркала, o глазъ, то послѣдній получаетъ отъ точки a такое впечатлѣніе, какъ будто за зеркаломъ находится свѣтящаяся точка b, а зеркала вовсе нѣтъ, т. е. какъ будто глазъ получаетъ свѣтовой лучъ $b\,o$. На самомъ дѣлѣ, конечно, это не такъ, потому

Рис. 68



Отраженіе свѣтового луча.

Рис. 69



Равенство угловъ паденія и отраженія.

что за зеркаломъ уже нѣтъ свѣтового луча, а зеркало непроницаемо для свѣта, по крайней мѣрѣ металлическое. Такимъ образомъ свѣтъ проходитъ не весь путь $b\,o$, а только часть его $c\,o$, къ точкѣ же c онъ приходитъ по прямой линіи отъ источника свѣта a. Значитъ, свѣтъ приходитъ изъ a въ c по пути $a\,c\,o$. Какъ же опредѣлить этотъ путь точнѣе?

Такъ какъ $a\,d$ равно $b\,d$ и $a\,b$ перпендикулярно къ $c\,d$, то, какъ легко видѣть, треугольникъ $b\,c\,d$ совмѣщается съ треугольникомъ $a\,c\,d$, если повернуть его около линіи $c\,d$. Такимъ образомъ, углы m и r должны быть равны. Но углы r и n также равны, такъ какъ они образованы двумя пересѣкающимися линіями (вертикальные углы). Слѣдовательно, углы m и n также должны быть равны. Это положеніе, которое было найдено греками и которое представляетъ законъ распространенія свѣта при отраженіи, обыкновенно выражаютъ такъ: при отраженіи уголъ паденія равенъ углу отраженія.

Впрочемъ, чаще обозначаютъ названіями угловъ паденія и отраженія не углы m и n, а углы u и v (рис. 69), которые образуются падающимъ и отраженнымъ лучемъ съ перпендикуляромъ къ плоскости зеркала. Само собою разумѣется, эти два угла также равны.

86. Если сдѣлать уголъ отраженія угломъ паденія, т. е. перенести свѣтящуюся точку въ o (рис. 68), то уголъ паденія станетъ угломъ отраженія и глазъ, помѣщенный въ точкѣ a, получитъ свѣтъ по направленію $c\,a$.

Греческій естествоиспытатель Геронъ Александрійскій, жившій во II вѣкѣ по Р. Х. и оставившій превосходное сочиненіе о воздухѣ и парѣ, указалъ на то, что не только прямолинейный лучъ идетъ отъ свѣтящейся точки къ глазу кратчайшимъ пу-

http://mathesis.ru

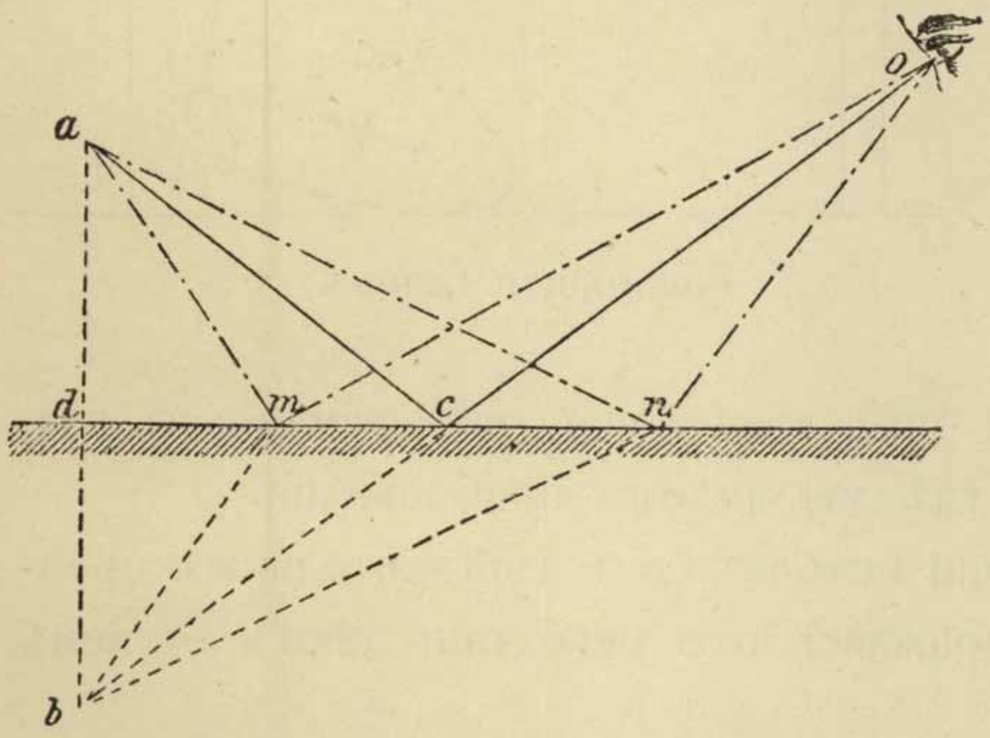
темъ, но что и при отраженіи свѣтовой лучъ также идетъ кратчайшимъ путемъ. Если a (рис. 70) есть свѣтящаяся точка, ab перпендикуляръ къ зеркалу и ad равно bd, то

$$am = bm, \text{ слѣдовательно, } amo = bmo;$$
$$ac = bc, \text{ слѣдовательно, } aco = bco;$$
$$an = bn, \text{ слѣдовательно, } ano = bno.$$

Но изъ трехъ послѣднихъ линій bco есть, очевидно, кратчайшая, такъ какъ это есть прямая линія между b и o. Слѣдовательно, и линія aco должна быть меньше, чѣмъ линіи amo и ano.

87. Зеркало даетъ возможность привести лучъ свѣта къ глазу по направленію, совершенно отличному отъ того, по которому онъ приходитъ непосредственно отъ самого предмета. Это позволяетъ съ большимъ успѣхомъ примѣнять зеркало къ производству оптическихъ обмановъ. Если наши комнатныя зеркала не даютъ такихъ обмановъ, то причина этого лежитъ только въ томъ, что мы привыкли къ ихъ отраженіямъ, а частью и въ томъ, что они всегда имѣютъ раму. Несомнѣнно зеркала играли большую роль въ „магіи“, которая процвѣтала въ эпоху арабовъ и даже въ позднѣйшія столѣтія оказывала хорошія услуги астрологамъ, каббалистамъ и дѣлателямъ золота, въ интересахъ которыхъ было больше отумавиваніе, чѣмъ просвѣщеніе публики. И у современныхъ фокусниковъ зеркала все еще играютъ ту же роль.

Рис. 70



Отраженный лучъ идетъ кратчайшимъ путемъ.

Однимъ изъ извѣстныхъ „чудесъ“ является „живая голова безъ туловища“. По срединѣ между передними и задними ножками стола помѣщается отвѣсное зеркало, за которымъ ложится человѣкъ, просовывающій голову сквозь отверстіе въ доскѣ стола, послѣ чего фокусникъ ставитъ на столъ четырехугольный ящикъ, поучая въ то же время публику о чудесныхъ свойствахъ этого ящика (рис. 71). Затѣмъ онъ снимаетъ ящикъ прочь и показываетъ голову; подъ столомъ, поддерживаемымъ только четырьми тонкими ножками, не видно ничего. То, что при этомъ принимаютъ за заднія ножки стола, есть не что иное, какъ отраженіе переднихъ ножекъ; точно такъ же полъ, видимый подъ столомъ позади его, есть только зеркальное изображеніе части пола, лежащей подъ столомъ впереди зеркала.

Когда-то большимъ успѣхомъ пользовались представленія одной женщины, которая, свободно паря въ воздухѣ, могла дѣлать медленныя движенія и повороты. Для этого впереди передъ сценой помѣщалось прозрачное зеркальное стекло въ косомъ положеніи, которое давало отраженное изображеніе b лица a (рис. 72), лежавшаго на вращающемся щитѣ. Когда это лицо двигалось въ горизонтальной плоскости, его отраженное изображеніе двигалось отвѣсно. Такъ какъ стекло было прозрачно, то оно давало только слабое изображеніе; чтобы устранить этотъ недостатокъ, фигуру освѣщали невидимой для публики сильной лампой p.

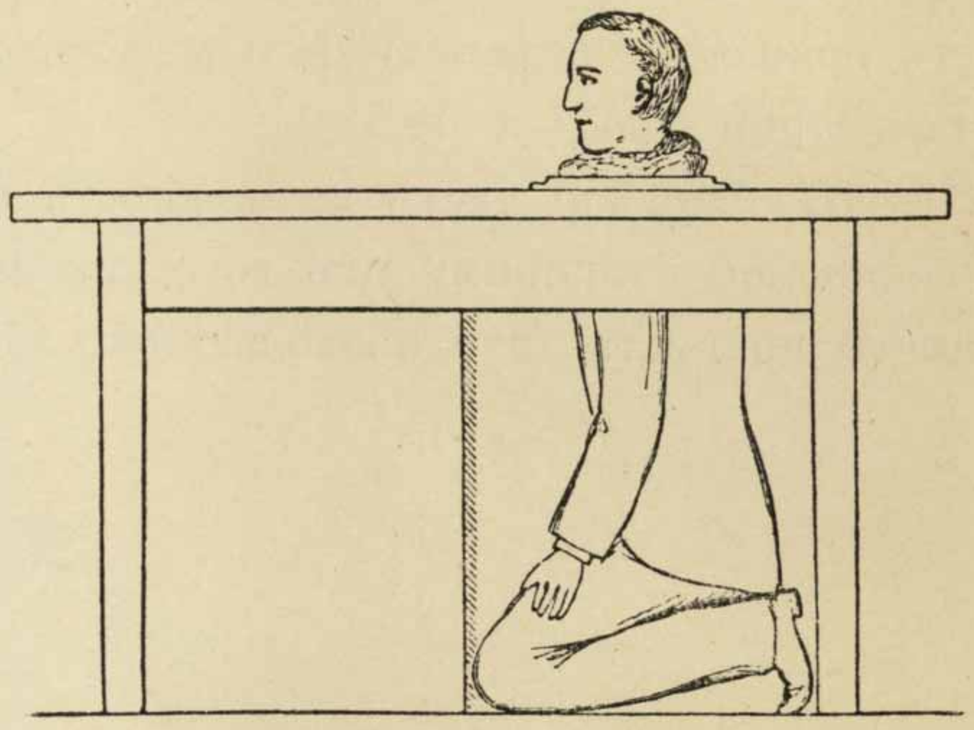
Другой извѣстный фокусъ представляетъ солдатъ, грудь котораго прострѣлена

http://mathesis.ru

пулей, такъ что сквозь него можно видѣть. Для этого фокуса служитъ ящикъ, который имѣетъ сверху форму, указанную на рис. 73. Оптическій обманъ производится здѣсь четырьмя зеркалами *m*, *n*, *p*, *r*.

88. Какъ было уже указано, лучи свѣта, отраженные зеркаломъ, дѣйствуютъ на глазъ такъ, какъ будто позади зеркала находится предметъ той же величины и притомъ въ положеніи симметричномъ съ дѣйствительнымъ предметомъ. Зеркальное изображеніе правой руки даетъ лѣвую руку. Написанныя въ обратномъ порядкѣ и въ повернутомъ видѣ буквы, представляющіяся въ зеркалѣ въ правильномъ видѣ, носятъ названіе „зеркальной надписи“.

Рис. 71



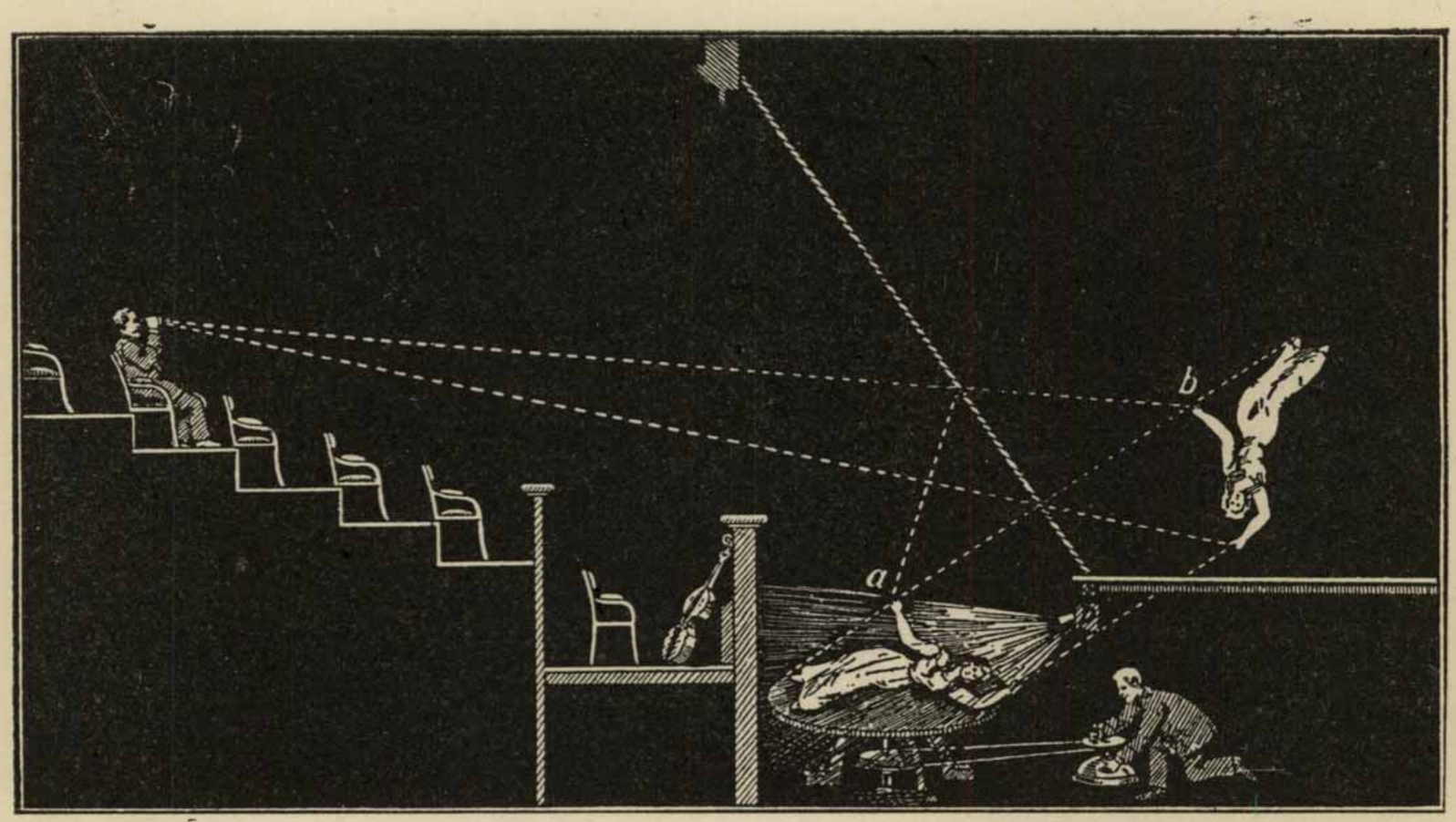
Говорящая голова.

Такъ какъ симметричныя линіи обладаютъ обыкновенно извѣстной красотой, именно, въ томъ случаѣ, когда симметрія совершенна[1]), то отраженіе часто производитъ пріятное впечатлѣніе, примѣромъ чего можетъ служить отраженіе ландшафта въ озерѣ со спокойной поверхностью.

Такія изображенія называются мнимыми, такъ какъ лучи, вызывающіе въ глазу это впечатлѣніе, идутъ не изъ того мѣста, гдѣ мы видимъ изображеніе.

Но лучи свѣта идутъ такъ, какъ будто они исходятъ изъ дѣйствительнаго предмета; поэтому, попадая на второе зеркало и отражаясь отъ него, они даютъ въ немъ

Рис. 72



Женщина, парящая въ воздухѣ.

изображеніе, которое расположено симметрично съ первымъ изображеніемъ относительно второго зеркала. Если лучи, идущіе отъ второго зеркала, попадутъ на третье,

---

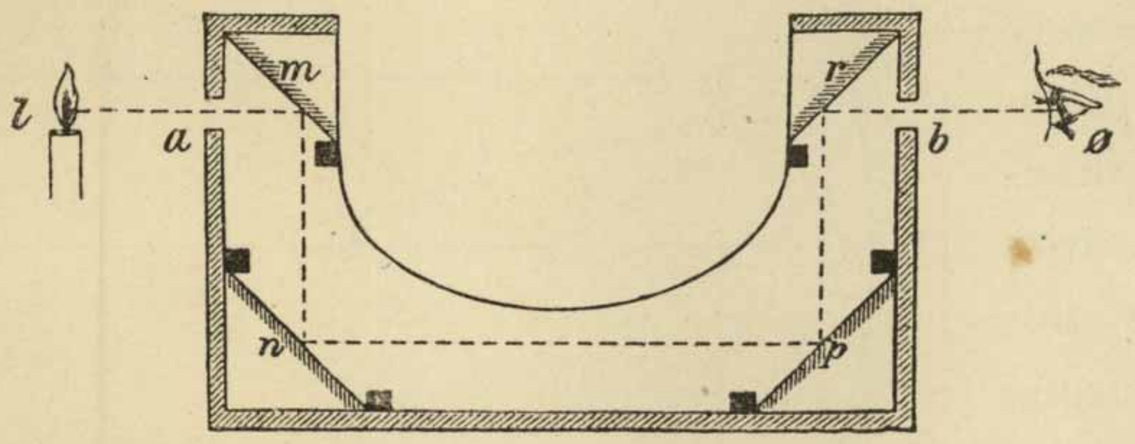
[1]) На этомъ основано пріятное впечатлѣніе, которое производятъ на чувство красоты точеныя вещи. Съ какой стороны ни смотрѣть на нихъ, ихъ контуры по обѣ стороны отъ оси всегда симметричны.

http://mathesis.ru

то они дадутъ въ немъ третье изображеніе, симметричное со вторымъ по отношенію къ третьему зеркалу и т. д.

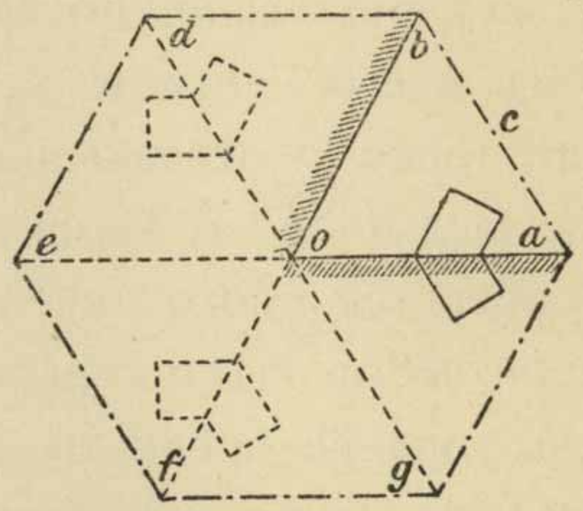
На этомъ основанъ изобрѣтенный Брюстеромъ (1781—1868) въ 1817 г. калейдоскопъ. На рис. 74 *oa* и *ob* представляютъ двѣ стеклянныхъ пластинки одинаковой ширины, наклоненныя другъ къ другу подъ угломъ въ 60°. Вмѣстѣ съ третьей, но не отражающей пластинкой *c*, онѣ помѣщаются въ трубку, имѣющую видъ зрительной трубы. Въ томъ концѣ трубки, который обращенъ къ глазу, находится отверстіе, сквозь которое можно смотрѣть внутрь трубки. Другой конецъ ея закан-

Рис. 73



Приборъ, при помощи котораго можно смотрѣть сквозь человѣка.

Рис. 74



Поперечный разрѣзъ калейдоскопа.

чивается двумя стеклянными пластинками, между которыми находятся кусочки цвѣтного стекла, камешки и т. п.; при вращеніи трубки эти предметы постоянно принимаютъ новыя положенія. Повторное отраженіе ихъ даетъ очень красивыя правильныя фигуры въ формѣ звѣзды.

89. Уже въ древности было извѣстно, что солнечными лучами при помощи зажигательнаго зеркала можно зажечь огонь. Еще до основанія Рима въ Италіи существовалъ культъ Весты, въ которомъ долженъ былъ непрерывно поддерживаться священный огонь. Если онъ какимъ-нибудь образомъ погасалъ, то его должны были зажигать вновь чистѣйшимъ огнемъ — огнемъ солнца; по разсказу Плутарха это дѣлалось при помощи скафіона — чаши для питья, которая и представляла зажигательное зеркало.

Напротивъ, разсказъ о томъ, что Архимедъ при помощи зеркалъ издали зажегъ римскій флотъ, повидимому, основанъ на недоразумѣніи.

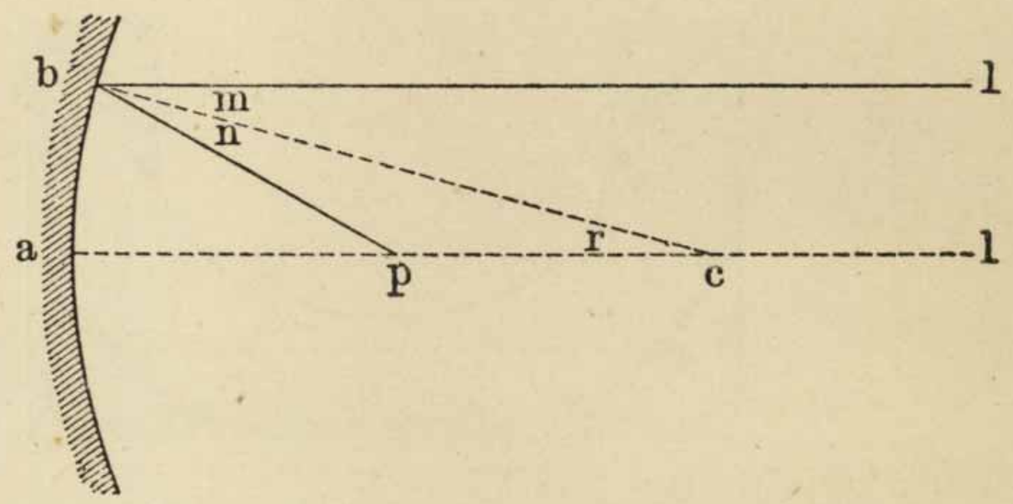
90 Зажигательныя зеркала примѣняли во всякомъ случаѣ раньше, чѣмъ умѣли объяснять ихъ дѣйствіе. Но законъ отраженія въ той формѣ, въ какой выражали его греки — уголъ паденія равенъ углу отраженія, — также вполнѣ объясняетъ такое дѣйствіе неплоскихъ зеркалъ. Важнѣйшими изъ зеркалъ съ кривой поверхностью являются тѣ, поверхность которыхъ представляетъ часть сферы: вогнутыя (собирательныя) и выпуклыя зеркала (разсѣивающія). Въ первыхъ отраженіе производится внутренней, а въ послѣднихъ внѣшней поверхностью шара.

Давно также было замѣчено, что въ кривыхъ поверхностяхъ получаются увеличенныя или уменьшенныя изображенія предметовъ: но только Птолемей попытался дать этому объясненіе при помощи закона отраженія. Арабы также занимались этимъ вопросомъ и теоретически и практически. Однако, полное объясненіе дѣйствія вогнутаго зеркала было дано, повидимому, впервые Роджеромъ Бэкономъ. Рис. 75 пред-

http://anathesis.ru

ставляетъ сѣченіе вогнутаго зеркала, центръ котораго лежитъ въ точкѣ c. Лучи, приходящіе съ очень большого разстоянія, напримѣръ, отъ солнца, можно считать параллельными. Лучъ, проходящій черезъ центръ c и попадающій на зеркало въ a, отражается имъ въ томъ же направленіи $a\,c$, такъ какъ всякая линія отъ c къ зеркалу перпендикулярна къ нему въ томъ мѣстѣ, гдѣ она встрѣчаетъ зеркало. Напротивъ, лучъ $l\,b$, образующій съ $c\,b$ уголъ m, отразится въ направленіи $b\,p$ такъ, что уголъ n будетъ равенъ углу m. Такъ какъ лучи $l\,b$ и $l\,a$ параллельны, то углы r и m также равны. Слѣдовательно, уголъ n равенъ углу r. А отсюда слѣдуетъ, что $b\,p$ равно $c\,p$. Если же b не слишкомъ далеко отъ a, то $b\,p$ и $a\,p$ также почти равны, и точка p лежитъ, слѣдовательно, по срединѣ между зеркаломъ и его центромъ c. Такимъ образомъ, въ точку p отразятся всѣ лучи, идущіе параллельно $l\,c\,a$. И такъ какъ въ этой точкѣ соберется много лучей, то они могутъ произвести здѣсь сильное нагрѣваніе и зажечь горючіе предметы, если источникомъ свѣта будетъ, напримѣръ, солнце. Точка p носитъ поэтому названіе фокуса (латинское focus = очагъ). Разстояніе этой точки отъ зеркала называется фокусной длиной или фокуснымъ разстояніемъ зеркала. Для того, чтобы лучи пересѣкались въ точкѣ p довольно точно, зеркало ни въ какомъ случаѣ не должно представлять слишкомъ большой части шаровой поверхности; въ противномъ случаѣ отрѣзки $b\,p$ и $p\,c$ не будутъ уже составлять ровно половины разстоянія $a\,c$.

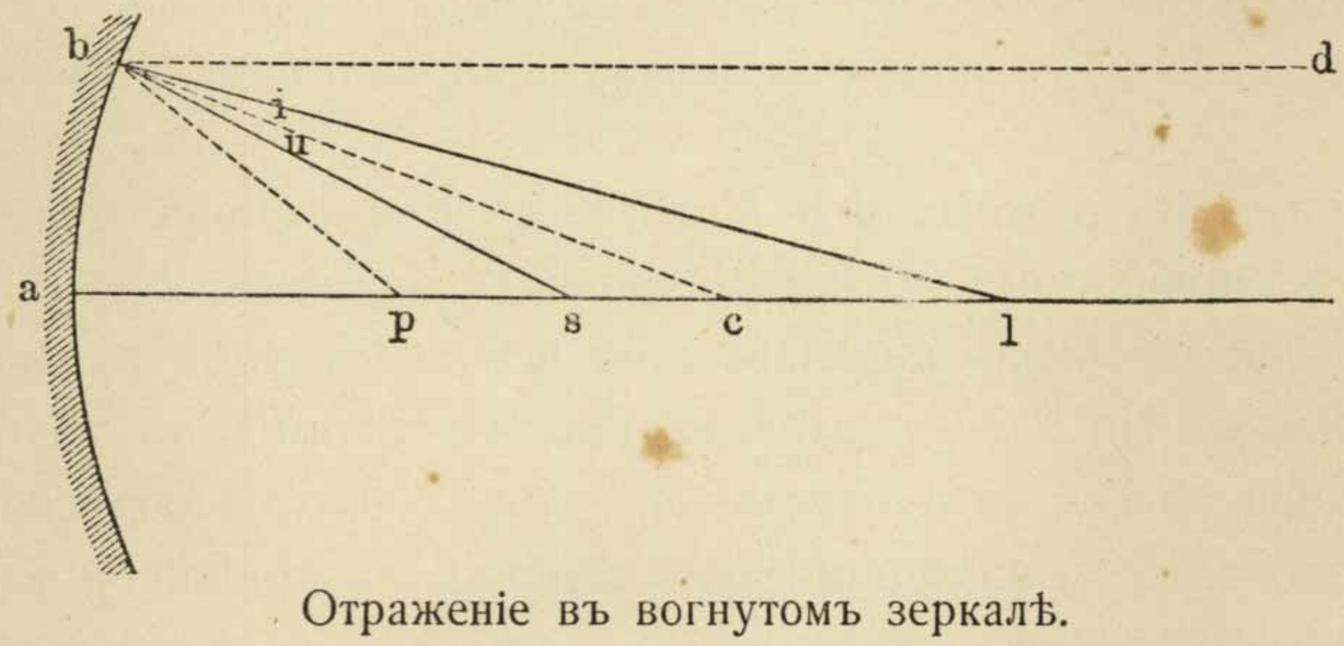
Рис. 75



Фокусъ вогнутаго зеркала.

Если свѣтящаяся точка находится не на очень большомъ разстояніи, напримѣръ, въ l (рис. 76), то одинъ лучъ изъ нея опять-таки пройдетъ черезъ центръ c въ точку a, откуда онъ вернется по тому же направленію. Такой лучъ называется центральнымъ лучемъ. Линія $l\,a$ называется также осью зеркала. Какой-нибудь другой лучъ $l\,b$ отразится въ направленіи $b\,s$. А такъ какъ $l\,b$ лежитъ ближе къ $c\,b$, чѣмъ $d\,b$, то и отраженный лучъ $b\,s$ будетъ лежать ближе къ $b\,c$, чѣмъ $b\,p$. Точка s, въ которой лучи пересѣкаются, теперь будетъ лежать ближе къ центру c, чѣмъ фокусъ.

Рис. 76



Отраженіе въ вогнутомъ зеркалѣ.

При помощи подобныхъ же соображеній отыскивается положеніе той точки, въ которой собираются лучи, если свѣтящаяся точка постепенно изъ безконечности приближается къ зеркалу.

http://mathesis.ru

1. Свѣтящаяся точка находится на безконечности; лучи собираются въ фокусѣ.

2. Свѣтящаяся точка находится ближе къ зеркалу, но на бо̀льшемъ разстояніи отъ него, чѣмъ разстояніе центра; лучи собираются между фокусомъ и центромъ.

3. Свѣтящаяся точка находится въ центрѣ; лучи собираются также въ центрѣ.

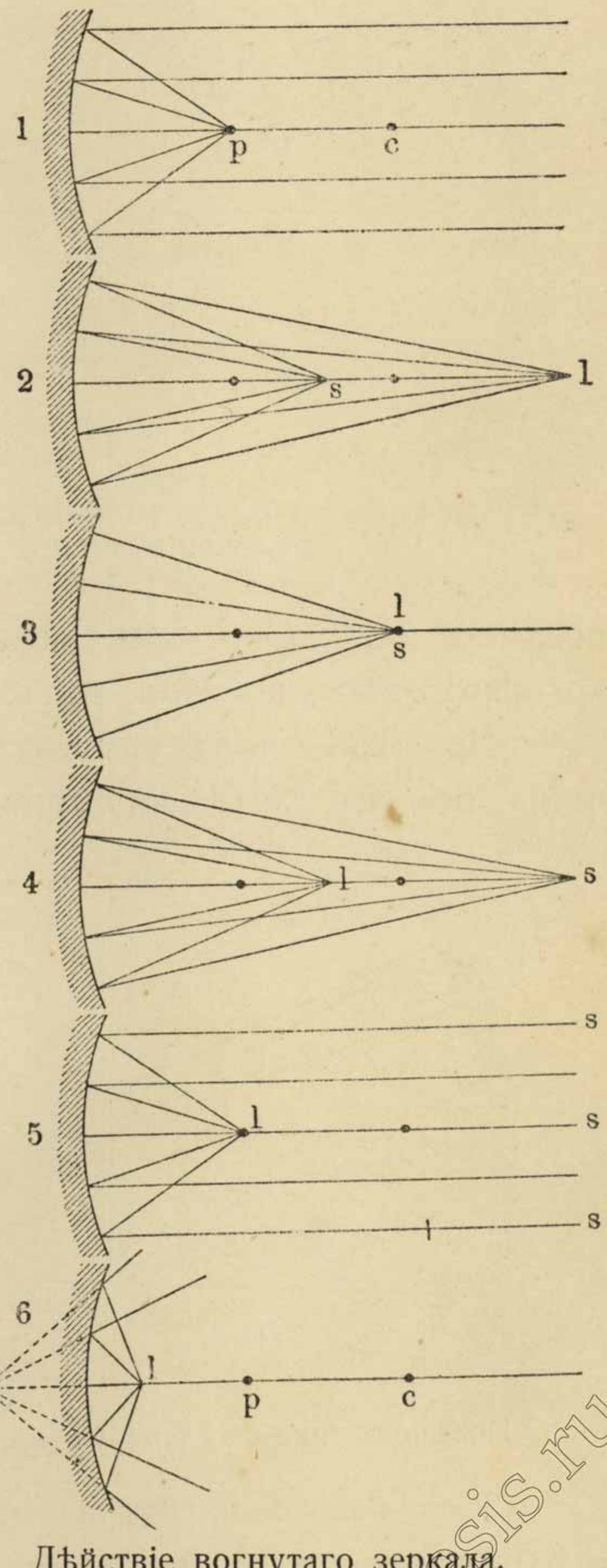
4. Свѣтящаяся точка находится между центромъ и фокусомъ; лучи собираются въ точкѣ, которая отстоитъ отъ зеркала дальше, чѣмъ центръ.

5. Свѣтящаяся точка находится въ фокусѣ; точка, въ которой собираются лучи, удаляется въ безконечность.

6. Свѣтящаяся точка лежитъ ближе къ зеркалу, чѣмъ фокусъ; лучи отражаются отъ зеркала такъ, какъ будто они выходятъ изъ точки s' позади зеркала.

Положеніе точки, въ которой собираются лучи, выходящіе изъ свѣтящейся точки l, можно найти при помощи чертежа слѣдующимъ образомъ (рис. 78). Сначала проводятъ центральный лучъ la, который отражается отъ зеркала по направленію al. Для того, чтобы найти направленіе, въ которомъ отражается какой-нибудь другой лучъ, напримѣръ, лучъ lb, проводятъ cb' параллельно lb. Средина p' этой линіи будетъ фокусомъ лучей, идущихъ по направленію lb и cb'. Значитъ, лучъ lb возвращается отъ зеркала по направленію bp' и пересѣкаетъ центральный лучъ въ точкѣ s. Слѣдовательно, въ этой точкѣ сходятся послѣ отраженія лучи la и lb. Поэтому она является фокусомъ для тѣхъ лучей, которые выходятъ изъ точки l [1]).

Рис. 77



Дѣйствіе вогнутаго зеркала.

91. Теперь легко понять, какимъ образомъ вогнутое зеркало даетъ изображеніе предмета. Это изображеніе будетъ имѣть существенно различный характеръ, смотря по тому, будетъ ли предметъ находиться дальше отъ зеркала (рис. 77, 1—4) или ближе къ нему (рис. 77, 6), чѣмъ фокусъ.

---

[1]) Положеніе точки, въ которой собираются лучи, можно найти при помощи вычисленія слѣдующимъ образомъ. Пусть радіусъ ac (рис. 76) вогнутаго зеркала будетъ r, разстояніе la свѣтящейся точки пусть будетъ l, а разстояніе pa фокуса пусть будетъ p. Въ треугольникѣ lbs линія bc дѣлитъ уголъ b пополамъ, а потому можно написать пропорцію

$$bl : bs = cl : cs.$$

Но сторона bl почти равна $al = l$ и сторона bs приблизительно равна $as = s$, слѣдовательно,

$$l : s = (l - r) : (r - s).$$

Этому уравненію нетрудно, при помощи соотвѣтственныхъ преобразованій, дать форму

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{l} = \frac{1}{p}.$$

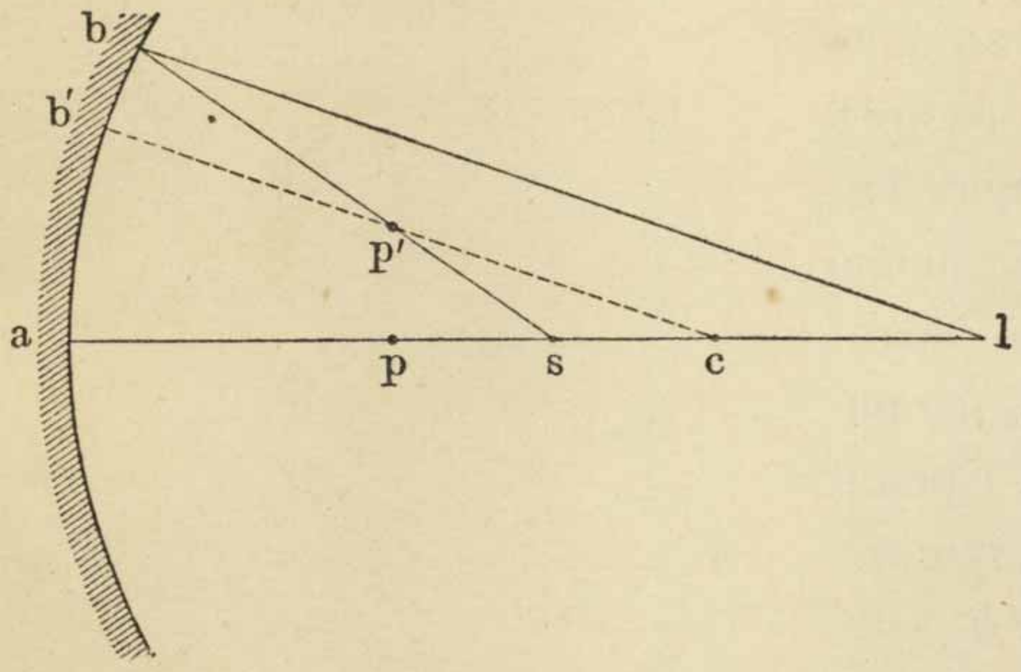
Такимъ образомъ, если изъ трехъ величинъ: s, l и p даны двѣ, то это уравненіе легко дастъ и третью.

http://mathesis.ru

Если $a\,b$ есть нашъ предметъ (рис. 79), то одинъ лучъ идетъ отъ какой-нибудь его точки a къ зеркалу черезъ центръ c и отражается по тому же направленію; всѣ другіе лучи, исходящіе изъ a и попадающіе на зеркало, будутъ встрѣчаться въ одной точкѣ α центральнаго луча. Такимъ же образомъ всѣ лучи, которые выходятъ изъ b, соберутся въ одной точкѣ β на центральномъ лучѣ $b\,c$, который одинъ только и нарисованъ на чертежѣ. Лучи изъ болѣе близкой точки d собираются въ одной точкѣ центральнаго луча $d\,c$, и эта точка лежитъ ближе къ центру, чѣмъ точки α и β.

Такимъ образомъ, въ пространствѣ получается обратное изображеніе. Если предметъ находится отъ зеркала дальше, чѣмъ центръ, а изображеніе, слѣдовательно, ближе же центра, то это изображеніе меньше предмета; въ противномъ случаѣ оно больше предмета. Кромѣ того, это есть дѣйствительное изображеніе, а не мнимое, какъ въ плоскомъ зеркалѣ. Лучи, дающіе изображеніе, дѣйствительно пересѣкаются въ указанномъ мѣстѣ. Это изображеніе можно увидѣть на листкѣ бумаги, помѣстивъ его на томъ мѣстѣ, гдѣ получается изображеніе. Если не принять здѣсь лучей на какой-нибудь экранъ, то они пересѣкаются и идутъ дальше, а, попадая въ глазъ, даютъ послѣднему впечатлѣніе, будто они исходятъ отъ предмета $\alpha\beta\delta$. Они, дѣйствительно, выходятъ изъ этого мѣста, но не изъ предмета, котораго здѣсь, конечно, нѣтъ.

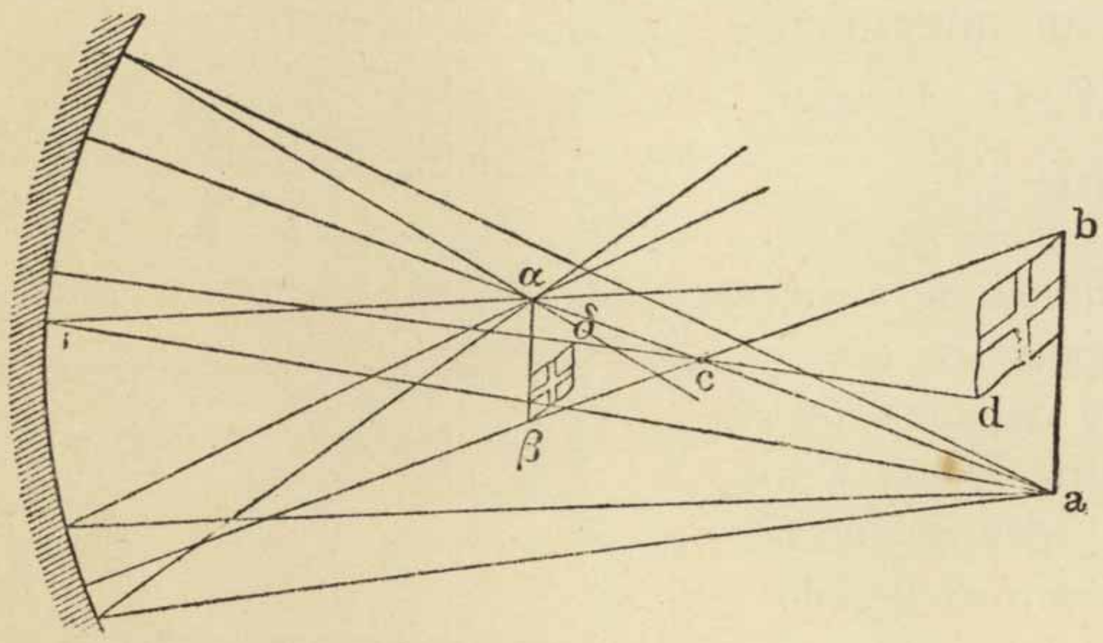
Рис. 78



Построеніе точки, въ которой сходятся по отраженіи лучи.

При извѣстныхъ условіяхъ такое изображеніе можетъ производить рѣзкіе оптическіе обманы. Такъ, напримѣръ, при удачномъ расположеніи опыта букетъ цвѣтовъ B (рис. 80), невидимый наблюдателю непосредственно, можетъ вызвать такую полную иллюзію, что наблюдателю захочется, пожалуй, понюхать его изображеніе B_1.

Рис. 79



Полученіе изображенія въ вогнутомъ зеркалѣ.

Нѣтъ ничего удивительнаго въ томъ, что невѣжественные современники Роджера Бэкона могли обвинять его въ волшебствѣ, такъ какъ они ясно видѣли въ воздухѣ предметы, которыхъ тамъ однако не было.

Такъ какъ лучи будутъ идти однимъ и тѣмъ же путемъ какъ въ одномъ, такъ и въ противоположномъ направленіи, то на рис. 79 $a\,b\,d$ представляетъ дѣйствительное изображеніе предмета $\alpha\beta\delta$.

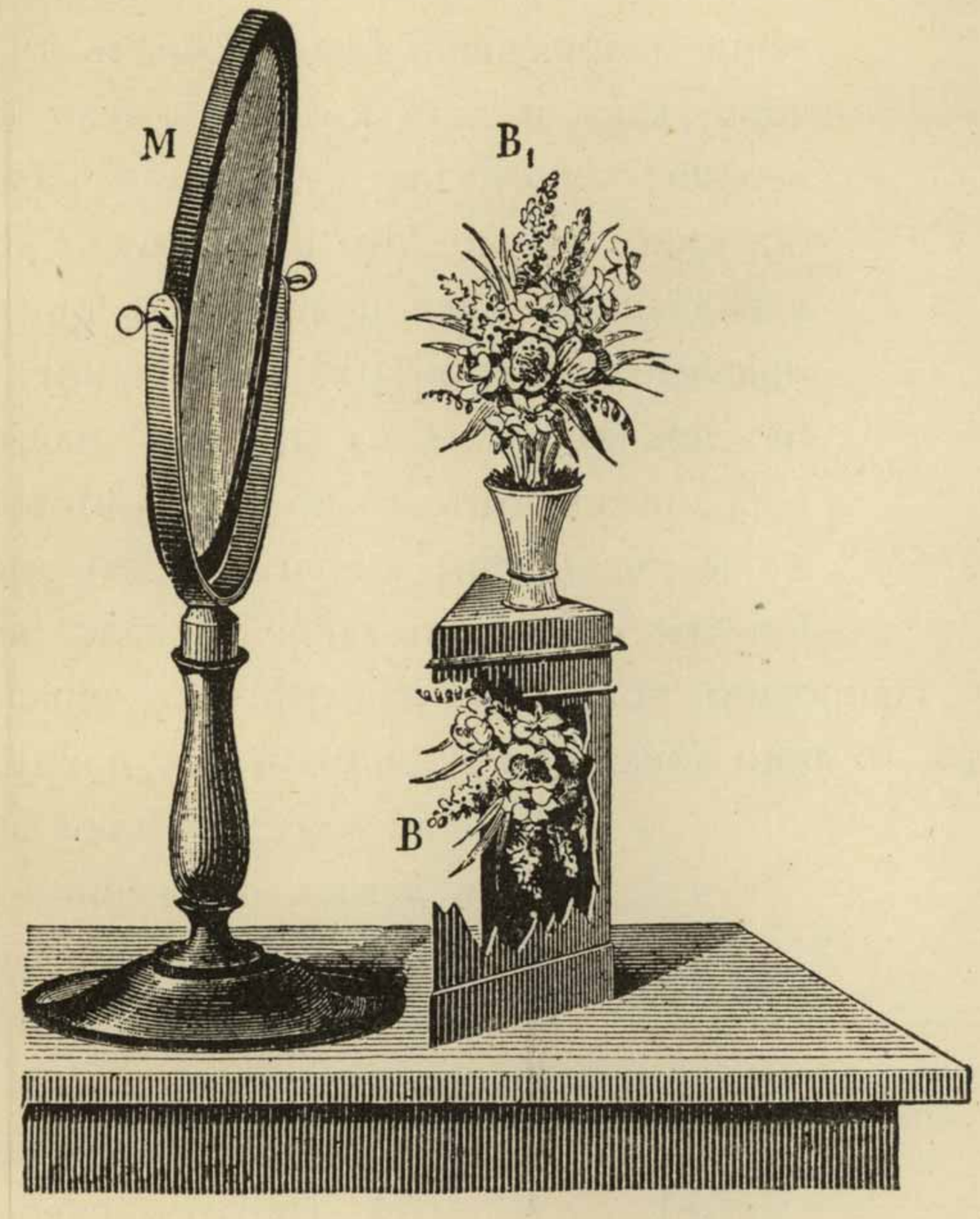
Если предметъ находится отъ зеркала дальше центра, то изображеніе находится къ нему ближе, чѣмъ центръ, и оно меньше предмета. Если предметъ находится ближе къ зеркалу, чѣмъ центръ, то изображеніе получается увеличенное и лежитъ отъ зер-

http://mathesis.ru

кала дальше центра. Если предметъ находится въ самомъ центрѣ, то изображеніе находится на томъ же разстояніи отъ зеркала и имѣетъ такіе же размѣры, какъ и самъ предметъ. Во всѣхъ этихъ случаяхъ изображеніе будетъ дѣйствительное и обратное.

Но если предметъ AB (рис. 81) будетъ находится ближе къ зеркалу, чѣмъ фокусъ, то центральный лучъ отразится отъ зеркала по тому же направленію, по которому онъ идетъ къ нему, а всѣ остальные лучи, выходящіе изъ A и попадающіе на зеркало, отразятся такъ, какъ будто они вышли изъ одной точки a центральнаго

Рис. 80



Иллюзія „дѣйствительнаго изображенія“.

луча. Точно такъ же лучи, выходящіе изъ B, послѣ отраженія пойдутъ такъ, какъ будто они выходятъ изъ точки b центральнаго луча. Глазъ поэтому получитъ отъ отраженныхъ лучей впечатлѣніе, будто они выходятъ изъ $a\,b$, гдѣ они вовсе и не могли бы быть. Такимъ образомъ, получается мнимое увеличенное изображеніе предмета позади зеркала, разстояніе котораго отъ зеркала больше, чѣмъ разстояніе самого предмета.

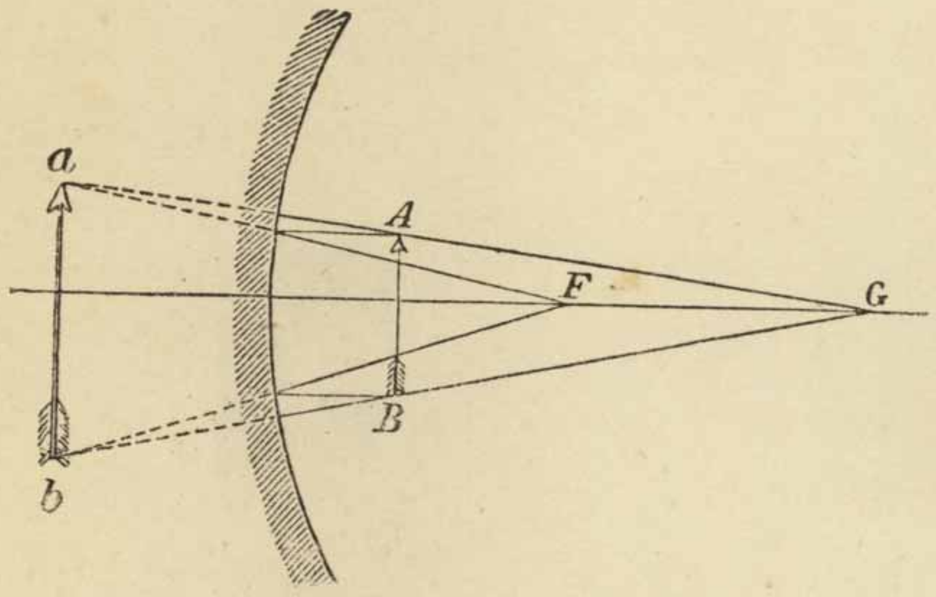
92. Въ выпуклыхъ зеркалахъ отраженіе производится внѣшнею поверхностью шара. Такъ же, какъ и въ случаѣ вогнутаго зеркала, можно убѣдиться, что параллельные (приходящіе изъ безконечности) лучи $u\,u$ (рис. 82) послѣ отраженія этимъ зеркаломъ направляются такъ, какъ будто идутъ изъ точки p, лежащей по срединѣ между центромъ и отражающей поверхностью. Эта точка называется мнимымъ фокусомъ выпуклаго зеркала. Съ приближеніемъ точки l къ зеркалу, падающіе на зеркало лучи образуютъ все бо̀льшіе углы съ перпендикуляромъ къ отражающей поверхности; въ этомъ случаѣ они будутъ казаться выходящими изъ точки s, лежащей между мнимымъ фокусомъ p и зеркаломъ. Соотвѣтственно этому легко понять и образованіе изобра-

http://mathesis.ru

женій. Свѣтъ, выходящій изъ точки a (рис. 83), отражается такъ, какъ будто онъ выходитъ изъ точки α, а свѣтъ изъ точки b такъ, какъ будто онъ выходитъ изъ β, и т. д. Такимъ образомъ, получается мнимое уменьшенное изображеніе $\alpha\beta\delta$ между мнимымъ фокусомъ и зеркаломъ. Выпуклыя зеркала (стеклянные шары), какъ извѣстно, нерѣдко ставятъ въ садахъ въ видѣ украшенія.

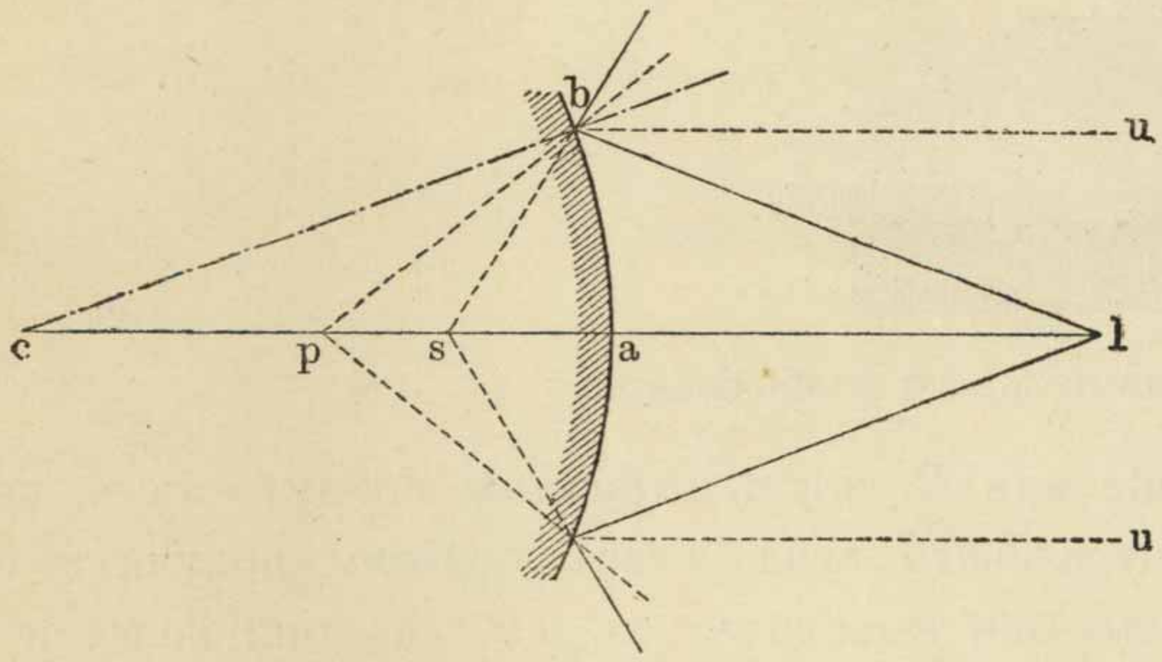
93. На серебряныхъ и т. п. предметахъ часто попадаются поверхности, не имѣющія шаровой формы и дающія поэтому искаженныя изображенія. Если это поверхность выпуклая, то она даетъ уменьшенное изображеніе, если она въ какомъ-нибудь одномъ направленіи выпрямлена, то въ этомъ направленіи изображеніе будетъ имѣть ту же величину, какъ и самъ предметъ; если же это поверхность вогнутая и предметъ находится достаточно близко, то изображеніе получается увеличенное. Если поверхность въ одномъ направленіи, напримѣръ, въ вышину, искривлена сильнѣе, чѣмъ въ другомъ, напримѣръ, въ горизонтальномъ, то предметы въ вышину будутъ уменьшены сильнѣе, чѣмъ въ ширину. Смотря на себя въ такое зеркало, вы увидите свое лицо растянутымъ въ ширину. Напротивъ того, если смотрѣть въ зеркало, имѣющее форму вертикальнаго цилиндра, то лицо покажется вытянутымъ въ длину. Соотвѣтственно тому, что такія зеркала могутъ давать искаженныя изображенія обыкновенныхъ предметовъ, они могутъ давать, съ другой стороны, правильныя изображенія по искаженнымъ рисункамъ (анаморфозы).

Рис. 81



Вогнутое зеркало, служащее для увеличенія.

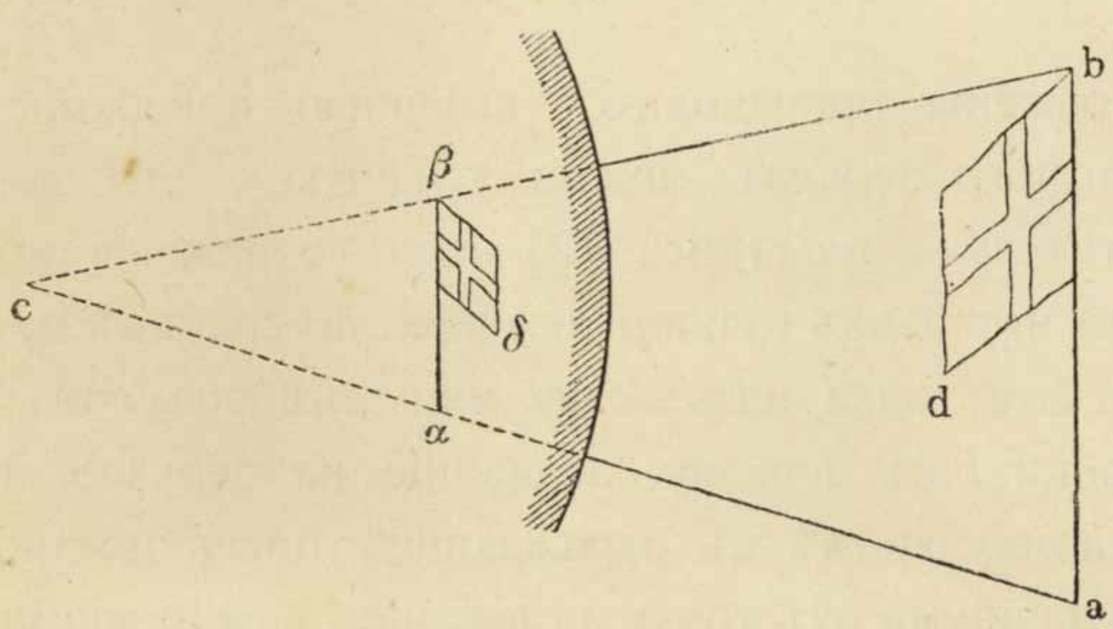
Рис. 82



Выпуклое зеркало.

Рис. 83

94. Проходя сквозь стеклянный шарикъ свѣтъ подвергается своеобразному измѣненію, которое, несомнѣнно, было извѣстно столь же давно, какъ и сами стеклянные шарики, т. е. со временъ финикіянъ. Говоря вообще, предметъ сквозь стеклянный шарикъ кажется увеличеннымъ.



Полученіе изображеній въ выпукломъ зеркалѣ.

Указаніе на это находится у Сенеки (12—66 гг. по Р. Х.), который говоритъ объ „увеличительной силѣ“ сосуда, наполненнаго водой. Очень простое приспособленіе для увеличенія, которымъ безъ труда можно пользоваться въ лѣсу и въ полѣ, устраивается слѣдующимъ

http://mathesis.ru

образомъ: въ листкѣ прокалывается маленькое отверстіе, на которое помѣщаютъ капельку воды; она дѣйствуетъ такъ же, какъ и стеклянный шарикъ.

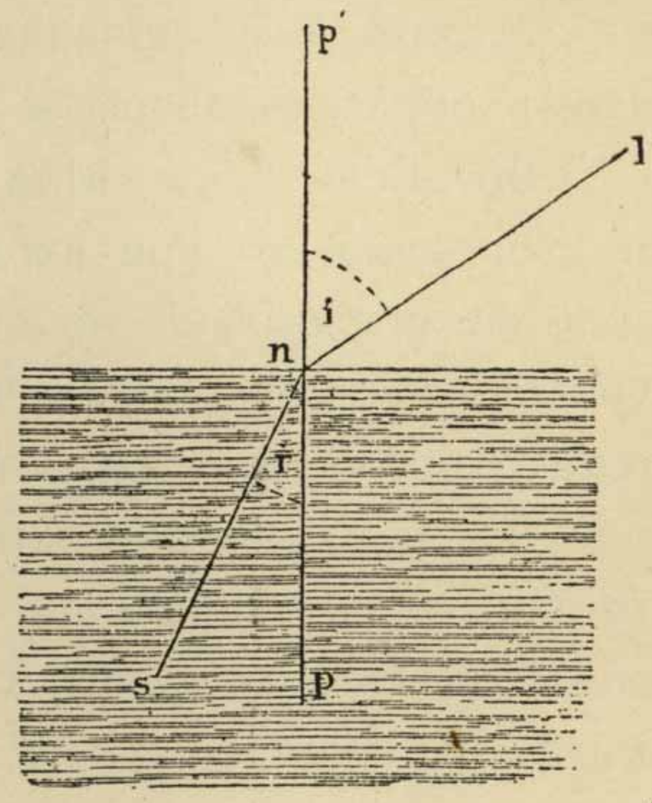
Равнымъ образомъ уже въ очень древнія времена было извѣстно, что солнечными лучами можно зажечь огонь, пропуская ихъ сквозь стеклянный шаръ или сквозь сосудъ, наполненный водой.

Въ „Облакахъ“ Аристофана Стрепсіадъ говоритъ Сократу, что онъ знаетъ, какъ можно отдѣлаться отъ кредиторовъ. Для этого нужно представленный счетъ положить на солнце, и заставить его таять при помощи стекла, которымъ зажигаютъ огонь[1]).

Плиній (23—79 гг. по Р. Х.) пишетъ, что стеклянные шары на солнцѣ могутъ обжигать и прижигать раны, а Лактанцій (умеръ въ 325 г.), учитель сына Константина Великаго, пишетъ, что стеклянный шаръ, наполненный водой, можетъ зажечь огонь, хотя вода въ немъ остается холодной. Относительно послѣдняго замѣчанія можно прибавить, что такое же дѣйствіе можетъ производить, не растаивая, шаръ или линза изъ льда. Извѣстны также случаи, когда занавѣси загорались отъ поставленной на окнѣ бутылки съ водой.

Однако, о природѣ этихъ процессовъ въ древности, повидимому, было извѣстно только очень немного. Первый вкладъ въ этомъ отношеніи внесъ Клеомедъ, который нашелъ (§ 53), что лучъ свѣта, переходящій изъ менѣе плотнаго вещества въ болѣе плотное, преломляется такъ, что его новое направленіе становится ближе къ перпендикуляру (нормали къ раздѣляющей вещества поверхности) и что при обратномъ переходѣ свѣтъ идетъ тѣмъ же путемъ, т. е. въ этомъ случаѣ онъ удаляется отъ перпендикуляра. Если вверху находится менѣе плотное вещество, а внизу болѣе плотное, то путь луча будетъ lns (рис. 84), безразлично, будетъ ли лучъ идти сверху внизъ или снизу вверхъ. Такимъ образомъ, уголъ, образуемый лучемъ съ перпендикуляромъ къ раздѣляющей вещества поверхности, въ болѣе плотной средѣ меньше, чѣмъ въ менѣе плотной. Птолемей, принимавшій во вниманіе при своихъ наблюденіяхъ высотъ небесныхъ свѣтилъ преломленіе лучей въ атмосферѣ, дѣлалъ опыты съ цѣлью опредѣлить величину преломленія свѣта при переходѣ изъ воздуха въ воду, изъ воздуха въ стекло и изъ воды въ стекло. Здѣсь мы имѣемъ одинъ изъ чрезвычайно рѣдкихъ примѣровъ, когда древніе не удовлетворялись одними наблюденіями, а прибѣгали къ производству опытовъ. Птолемей нашелъ, что при переходѣ изъ воздуха въ воду уголъ преломленія r равенъ $0{\cdot}76$ угла паденія i. Для перехода изъ воздуха въ стекло онъ нашелъ $r = 0{\cdot}67\ i$, а для перехода изъ воды въ стекло $r = 0{\cdot}88\ i$.

Рис. 84



Преломленіе свѣта.

Лучъ свѣта, который переходитъ изъ воздуха въ стекло и при этомъ преломляется такъ, что $r = 0{\cdot}67\ i$, отклоняется какъ разъ настолько, насколько онъ отклоняется при переходѣ сначала изъ воздуха въ воду, а затѣмъ изъ воды въ стекло.

---

[1]) Конечно, счетъ, написанный на покрытой воскомъ дощечкѣ *Пр. пер.*

http://mathesis.ru

Въ самомъ дѣлѣ, если этотъ уголъ сначала уменьшается въ отношеніи 0·76, а затѣмъ послѣдній уголъ уменьшается въ отношеніи 0·88, то въ общемъ уголъ уменьшается въ $0{\cdot}76 \times 0{\cdot}88$ разъ, что составляетъ почти точно 0·67.

Арабскій физикъ Альгазенъ, жившій въ Испаніи въ XI вѣкѣ и писавшій по оптикѣ, въ существенномъ опирается на Птолемея, но даетъ также и нѣсколько новыхъ соображеній. Такъ, онъ замѣчаетъ, что отношеніе между угломъ паденія и угломъ преломленія нѣсколько измѣняется для различныхъ положеній луча и что, слѣдовательно, законъ, опредѣляющій величину преломленія, не такъ простъ, какъ принималъ это Птолемей. Однако, прошло еще нѣсколько вѣковъ, прежде чѣмъ былъ открытъ истинный законъ.

95. Между тѣмъ арабы и европейцы продолжали заниматься стеклянными шарами и линзами, при помощи которыхъ можно было получать чудесныя изображенія, возбуждавшія огромный интересъ въ тѣ проникнутыя мистицизмомъ времена. Нѣкоторые старались объяснить образованіе этихъ изображеній математически, опираясь на то, что было извѣстно о преломленіи свѣта отъ Клеомеда и Птолемея, другіе же старались сами изслѣдовать свойства изображеній при помощи опытовъ со стеклами.

Въ послѣднемъ отношеніи особенно выдѣлялся въ это переходное время Францискъ Мавроликъ изъ Мессины (1494—1575). Онъ былъ сыномъ одного греческаго бѣглеца изъ Константинополя (§ 60). Хотя Мавроликъ принадлежалъ къ духовному сословію, онъ занимался также и многимъ другимъ, былъ директоромъ монетнаго двора и пользовался глубокимъ уваженіемъ ученыхъ и высокопоставленныхъ людей. Онъ написалъ большой математическій трудъ, въ которомъ собралъ все важное, что нашелъ въ древнихъ и новыхъ сочиненіяхъ. Ему также принадлежитъ сочиненіе по оптикѣ, въ которомъ было много новаго, напримѣръ, объясненіе того, почему неправильныя отверстія въ листвѣ даютъ круглыя изображенія солнца. Повидимому, онъ первый замѣтилъ, что эти изображенія солнца во время затменія имѣютъ форму серпа (§ 81).

Мавролику принадлежитъ также попытка математическаго объясненія того, какимъ образомъ шары и линзы могутъ давать изображенія.

96. Если лучъ свѣта проходитъ сквозь стеклянную пластинку съ параллельными сторонами, то при входѣ въ нее онъ преломляется, но при выходѣ испытываетъ такое же преломленіе въ обратную сторону; такимъ образомъ, направленіе выходящаго луча параллельно направленію входящаго (рис. 85), послѣдній только нѣсколько смѣщенъ относительно перваго и притомъ тѣмъ больше, чѣмъ косѣе падаетъ лучъ.

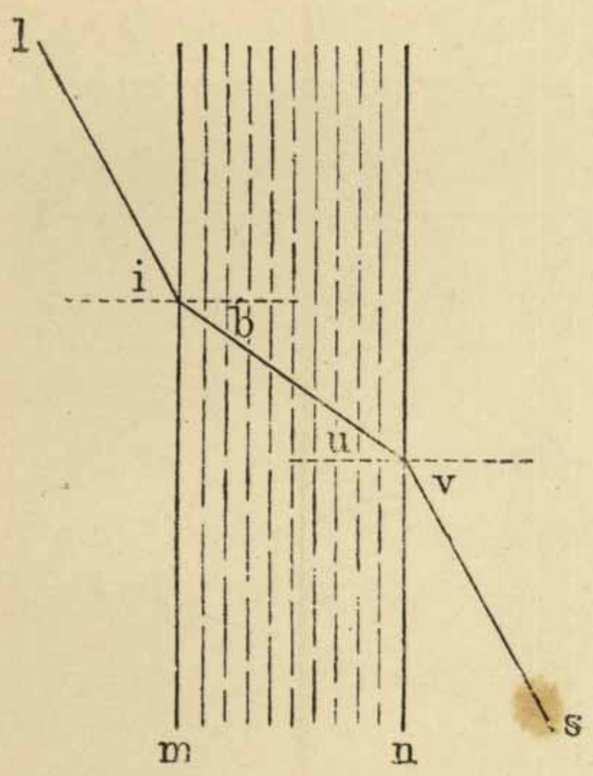
97. Но если поверхность m, на которую падаютъ лучи, и поверхность n, изъ которой они выходятъ, не параллельны между собою, а образуютъ часть такъ называемой призмы (рис. 86) съ ребромъ k, то при вступленіи въ стекло лучъ приближается къ перпендикуляру p, возставленному въ точкѣ его паденія, а при выходѣ удаляется отъ перпендикуляра q и, такимъ образомъ, выходитъ въ направленіи s. Значитъ, если лучъ свѣта проходитъ сквозь кусокъ стекла, ограниченнаго двумя непараллельными поверхностями — сторонами призмы —, то лучъ удаляется отъ преломляющаго ребра призмы.

98. Если лучи свѣта проходятъ сквозь линзу, ограниченную шаровыми поверхностями и въ срединѣ болѣе толстую, чѣмъ на краяхъ, то лучъ, проходящій сквозь средину линзы, сохраняетъ свое направленіе, такъ какъ тѣ части поверхности, сквозь

http://mathesis.ru

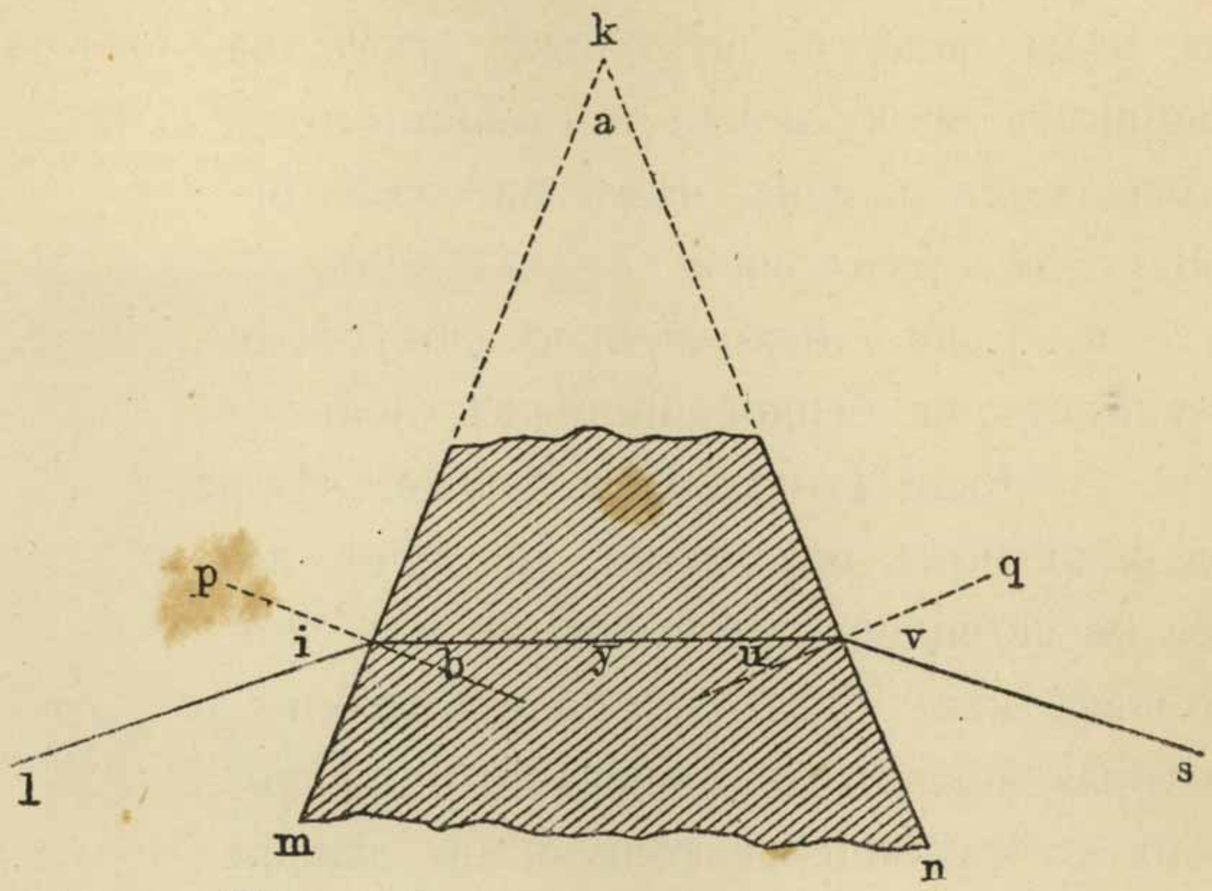
которыя онъ входитъ и выходитъ, параллельны между собою (рис. 87). Напротивъ того, другіе лучи, какъ *l a* и *l b*, проходятъ черезъ части поверхности, наклонныя другъ къ другу. Поэтому они удаляются отъ „преломляющаго ребра призмы“ и встрѣчаются съ первымъ лучемъ въ точкѣ *s*. Тѣ лучи, которые проходятъ сквозь нижнюю часть линзы, какъ *l c* и *l d*, также встрѣчаются съ остальными въ точкѣ *s*.

Рис. 85



Путь свѣтового луча въ стеклянной пластинкѣ.

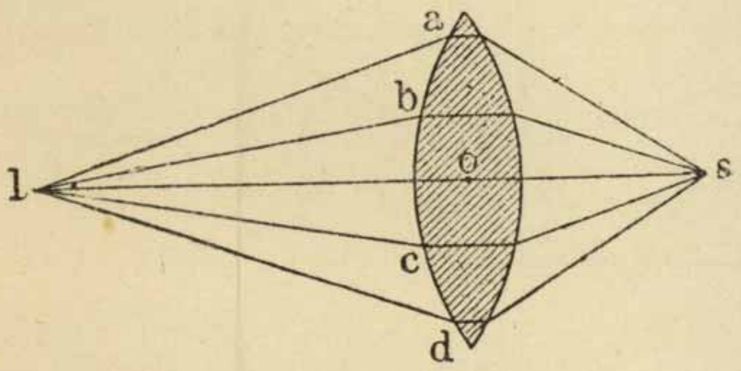
Рис. 86



Путь свѣтового луча въ призмѣ.

Сходное съ этимъ дѣйствіе производятъ всѣ линзы, которыя въ срединѣ толще, чѣмъ на краяхъ (рис. 88, 1—3 слѣва). Такія линзы соединяютъ лучи въ одной точкѣ или, по крайней мѣрѣ, дѣлаютъ ихъ менѣе расходящимися. Онѣ являются собирательными линзами. Дѣйствіе такой линзы зависитъ какъ отъ ея формы, такъ и отъ вещества, изъ котораго она сдѣлана. Даже различные сорта стекла различны по своему дѣйствію. Отношенія между углами паденія и отраженія для различныхъ сортовъ стекла различны, а не одинаковы, какъ это думалъ Птолемей.

Рис. 87.



Собирательное стекло.

Если свѣтъ приходитъ съ безконечнаго разстоянія (рис. 89, 1), то онъ собирается въ одной точкѣ *s*, въ такъ называемомъ фокусѣ линзы. Разстояніе этой точки отъ линзы называется фокуснымъ разстояніемъ линзы или ея фокусной длиной. Чертежи рис. 89, на которыхъ точками отмѣчены фокусное и двойное фокусное разстоянія, представляютъ слѣдующіе случаи:

Рис. 88



Собирательныя и разсѣивающія стекла.

1. Если *l* находится на безконечномъ разстояніи, то *s* помѣщается въ фокусѣ,

http://mathesis.ru

2. Если l находится на конечномъ разстояніи, но дальше, чѣмъ на двойномъ фокусномъ разстояніи, то s помѣщается дальше фокуса, но ближе, чѣмъ на двойномъ фокусномъ разстояніи отъ линзы.

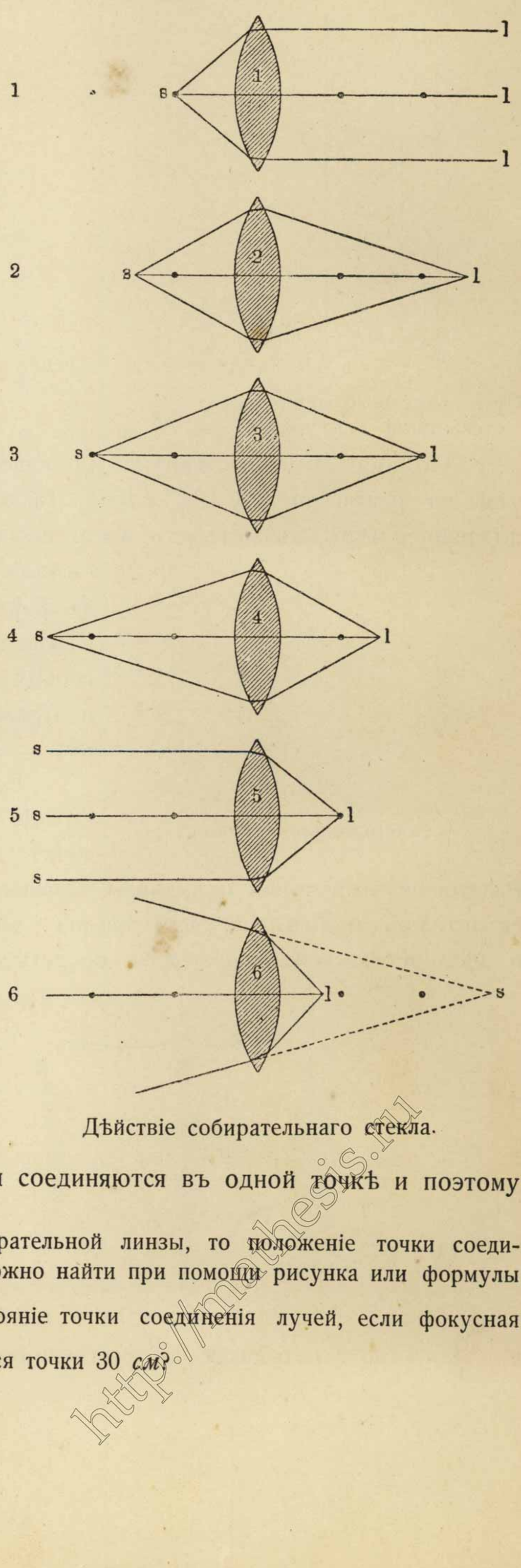
3. Если l находится на разстояніи двойной фокусной длины, то s также находится на двойномъ фокусномъ разстояніи.

4. Если l лежитъ дальше отъ линзы, чѣмъ фокусъ, но ближе, чѣмъ на двойномъ фокусномъ разстояніи, то s помѣщается дальше, чѣмъ на двойномъ фокусномъ разстояніи.

5. Если l находится въ фокусѣ, то s уходитъ на безконечное разстояніе.

6. Если l находится ближе, чѣмъ на фокусномъ разстояніи, то лучи вовсе не собираются, а выходятъ изъ линзы такъ, какъ будто идутъ изъ точки s', которая лежитъ отъ линзы по одну сторону со свѣтящейся точкой, но дальше отъ послѣдней, чѣмъ свѣтящаяся точка[1]).

Рис. 89



Дѣйствіе собирательнаго стекла.

99. Такъ какъ собирательная линза производитъ на лучи свѣта такое же дѣйствіе, какъ и вогнутое зеркало, то подобнымъ же образомъ она даетъ изображенія предметовъ, изъ которыхъ выходитъ падающій на нее свѣтъ (рис. 90).

Свѣтъ, который выходитъ изъ точки a, собирается въ точкѣ α центральнаго луча. Такимъ же образомъ свѣтъ, выходящій изъ b и d, собирается въ точкахъ β и δ. На чертежѣ нарисованы только два центральныхъ луча. Въ результатѣ получается обратное изображеніе, которое будетъ меньше, такой же величины, или больше, чѣмъ самъ предметъ, соотвѣтственно тому, находится ли послѣдній дальше, чѣмъ на двойномъ фокусномъ разстояніи, какъ разъ на двойномъ фокусномъ разстояніи или ближе.

Эти изображенія дѣйствительны. Лучи соединяются въ одной точкѣ и поэтому

---

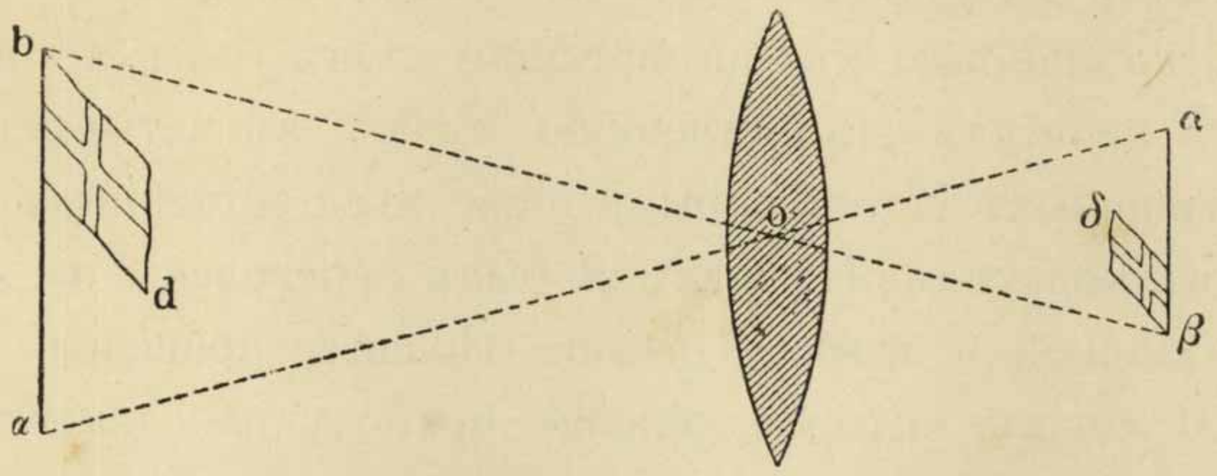
[1]) Если извѣстна фокусная длина собирательной линзы, то положеніе точки соединенія лучей, какъ и при вогнутомъ зеркалѣ, можно найти при помощи рисунка или формулы $\frac{1}{l}+\frac{1}{s}=\frac{1}{p}$. Каково, напримѣръ, будетъ разстояніе точки соединенія лучей, если фокусная длина составляетъ 12 *см*, а разстояніе свѣтящейся точки 30 *см*?

http://mathesis.ru

могутъ дать на экранѣ изображеніе. Если они пойдутъ дальше и попадутъ въ глазъ, то произведутъ въ немъ впечатлѣніе, что они выходятъ изъ предмета $\alpha\beta\delta$, не существующаго, однако. Если помѣстить экранъ слѣва отъ $\alpha\beta\delta$, то здѣсь свѣтъ отъ отдѣльныхъ точекъ собирается еще не вполнѣ. Если же помѣстить его справа отъ $\alpha\beta\delta$, то здѣсь лучи уже начинаютъ расходиться. Въ обоихъ случаяхъ получится нерѣзкое, размытое изображеніе.

100. Если предметъ находится ближе къ линзѣ, чѣмъ фокусъ, то выходящіе изъ линзы лучи не собираются, а идутъ отъ нея такъ, какъ будто они выходятъ изъ

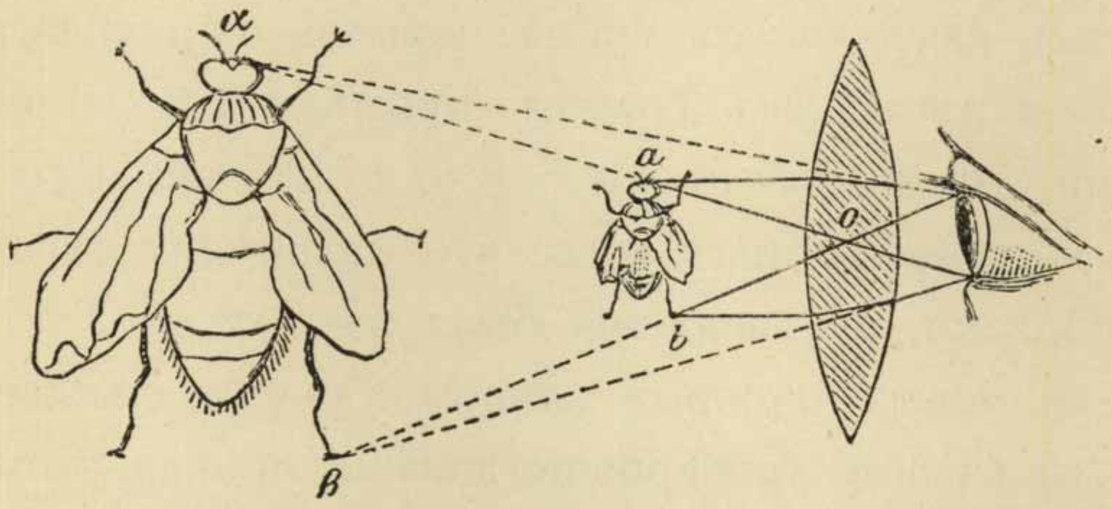
Рис. 90



Полученіе изображеній при помощи собирательнаго стекла.

точки, которая лежитъ отъ линзы дальше, чѣмъ самъ предметъ (рис. 89, 6). Такимъ образомъ, выходящій изъ линзы свѣтъ будетъ производить на глазъ впечатлѣніе, что онъ исходитъ изъ $\alpha\beta$ (рис. 91); слѣдовательно, въ этомъ случаѣ линза будетъ дѣйствовать, какъ увеличительное стекло или лупа (ср. § 94).

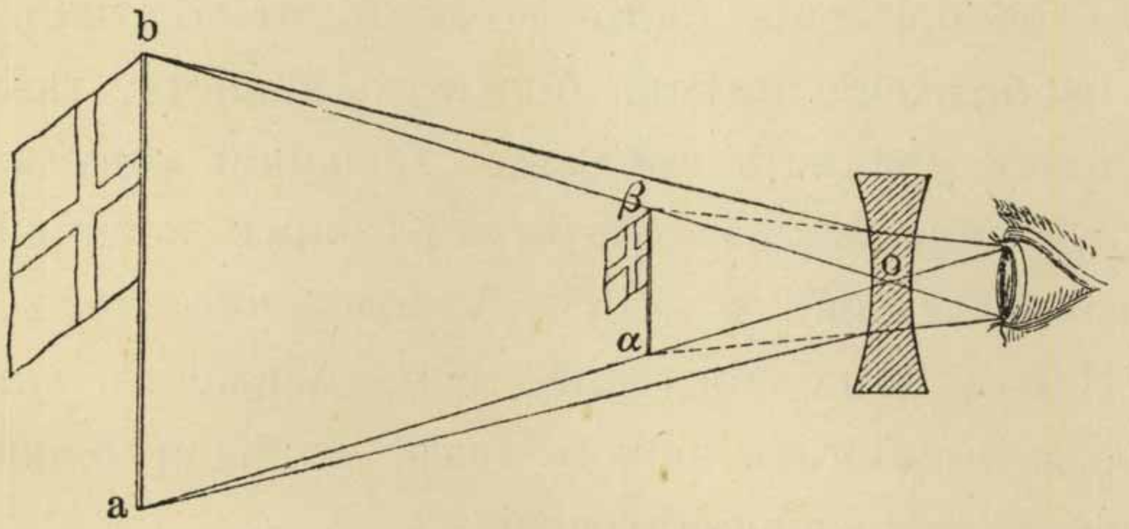
Рис 91



Собирательное стекло, служащее для увеличенія.

101. Тѣ линзы, которыя по срединѣ тоньше, чѣмъ на краяхъ (рис. 88, 1—3 справа), очевидно, разсѣиваютъ лучи, идущіе изъ одной точки *a* (рис. 92). Въ самомъ дѣлѣ,

Рис. 92



Разсѣивающее стекло для уменьшенія.

въ то время какъ центральный лучъ проходитъ сквозь такую линзу непреломленнымъ, въ нижней части линзы лучи попадаютъ на поверхности, преломляющее ребро кото-

http://mathesis.ru

рыхъ лежитъ выше. Поэтому такіе лучи отклоняются внизъ. Такимъ же образомъ лучи, падающіе на верхнюю часть линзы, будутъ отклоняться вверхъ. Значитъ, лучи будутъ выходить изъ линзы такъ, какъ будто они идутъ изъ точки α. Такимъ же образомъ лучи, приходящіе отъ точки b, будутъ идти какъ будто изъ точки β. Поэтому разсѣивающая линза даетъ глазу уменьшенное мнимое изображеніе $\alpha\beta$ предмета.

102. Современникъ Мавролика, Джамбаттиста делла Порта вызывалъ большое изумленіе чудесными явленіями, которыя онъ производилъ посредствомъ такихъ линзъ.

Порта родился въ Неаполѣ въ 1538 г. и умеръ въ 1615 г. Это была огненная натура съ большой склонностью къ мистическому. Онъ былъ авторомъ 24 драмъ и въ возрастѣ 15 лѣтъ написалъ „Естественную магію“ въ четырехъ томахъ, трактовавшую о самыхъ различныхъ естественныхъ и сверхъестественныхъ предметахъ. Этотъ трудъ появился въ нѣсколькихъ изданіяхъ и былъ переведенъ на итальянскій, испанскій, французскій, нѣмецкій и арабскій языки. Позднѣе появилось дополненное изданіе этой книги въ 20 томахъ, которое, однако, не получило такого широкаго распространенія, какъ первыя изданія.

Портѣ, кромѣ того, принадлежитъ заслуга основанія первой академіи наукъ въ Италіи. Въ то время въ Италіи возникъ цѣлый рядъ ученыхъ обществъ, которыя по имени школы, основанной Платономъ, назывались академіями. Въ академіи Порты было постановлено, что ея членомъ нельзя быть, не создавъ или не открывъ чего-нибудь новаго. Однако, этой академіи не суждено было долго существовать.

Одинъ французъ, поссорившись съ Портой, обвинилъ его въ приготовленіи дьявольской мази; а такъ какъ въ то время церковь относилась къ естественнымъ наукамъ очень ревниво и такъ какъ Порта, кромѣ того, занимался и другими чудодѣйственными вещами, то это обвиненіе могло стать для него опаснымъ; поэтому онъ поѣхалъ въ Римъ и тамъ добился того, что дальнѣйшимъ жалобамъ на него перестали давать ходъ. Однако, его академія была закрыта.

Порта описываетъ между прочимъ камеру-обскуру, снабженную собирательной линзой. Повидимому, это важное усовершенствованіе принадлежитъ ему самому. Вмѣсто простого маленькаго отверстія въ стѣнкѣ ящика или комнаты помѣщаютъ собирательную линзу mn (рис. 93) такъ, чтобы она давала на противоположной стѣнѣ или на экранѣ рѣзкое изображеніе внѣшнихъ предметовъ. Въ такомъ случаѣ весь свѣтъ, выходящій изъ a, даетъ не пятно, а точку α; и такъ какъ каждая точка предмета передается въ изображеніи также точкой, то получается рѣзкое изображеніе. Кромѣ того, это изображеніе имѣетъ большую яркость, такъ какъ въ камеру-обскуру отъ каждой точки предмета попадаетъ большой конусъ man лучей свѣта.

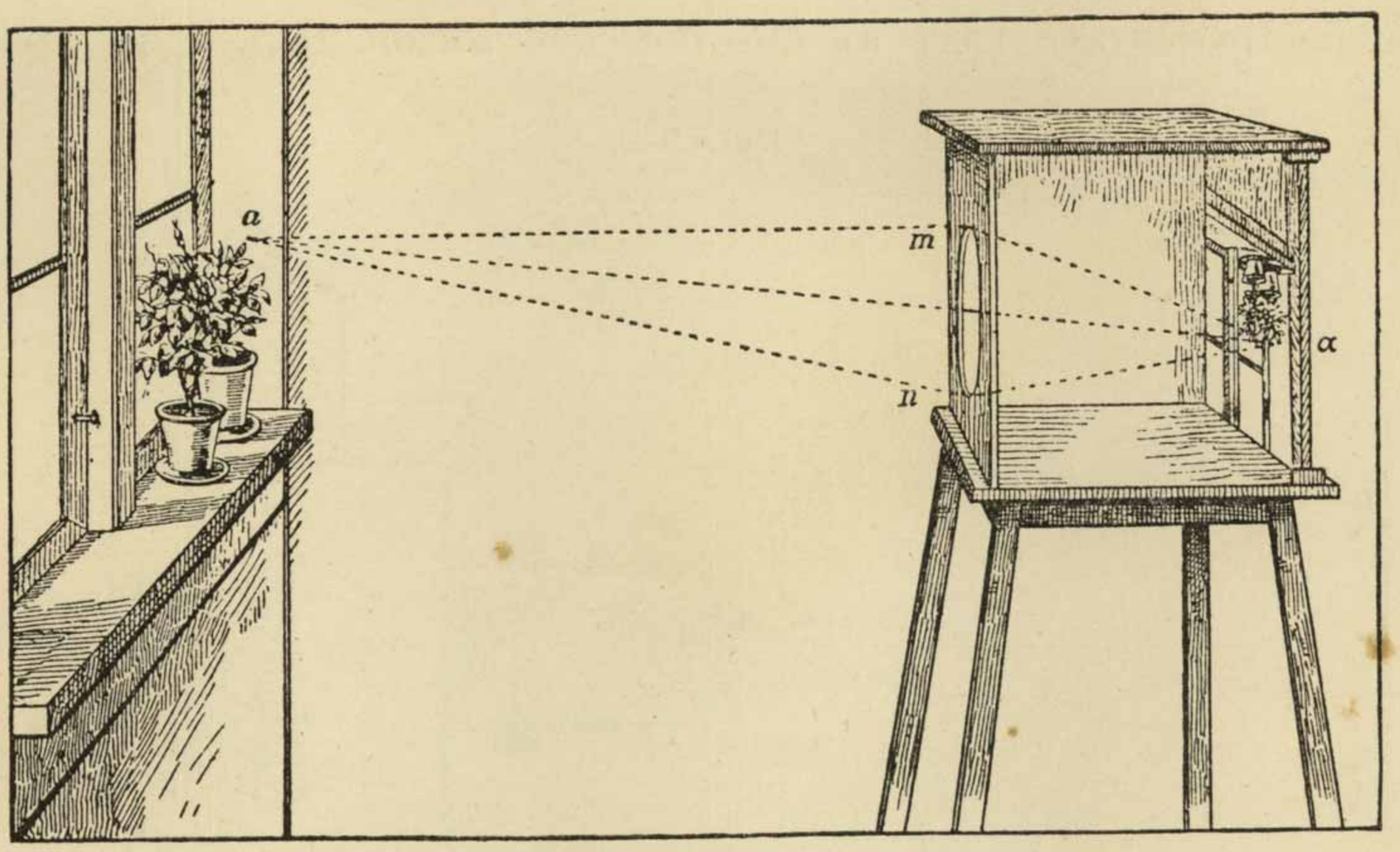
Однако, для того, чтобы изображеніе было рѣзкимъ, воспринимающій его экранъ долженъ находиться на надлежащемъ мѣстѣ. А положеніе этого мѣста зависитъ отъ разстоянія предмета. Чѣмъ больше послѣднее, тѣмъ ближе къ линзѣ получается изображеніе. Поэтому нельзя помѣстить экранъ такъ, чтобы и близкіе и далекіе предметы одновременно давали рѣзкія изображенія.

Въ настоящее время такими камерами пользуются фотографы. Прежде всего заднюю стѣнку ея (матовое стекло) помѣщаютъ такъ, чтобы на ней получалось рѣзкое изображеніе снимаемаго предмета. Если снимаютъ группу лицъ, то стараются раз-

http://mathesis.ru

мѣстить ихъ по возомжности на одинаковыхъ разстояніяхъ отъ камеры. Получивъ на матовомъ стеклѣ рѣзкое изображеніе, замѣняютъ матовое стекло приготовленною опредѣленнымъ образомъ пластинкой, на которую изображеніе дѣйствуетъ такъ, что позднѣе, при помощи извѣстныхъ химическихъ процессовъ, на пластинкѣ можно проявить это изображеніе и закрѣпить его.

Рис. 93



Камера-обскура съ линзой.

Порта получалъ изображенія не только предметовъ, но также и картинъ на стеклѣ. При этомъ онъ изобрѣлъ Laterna magica (волшебный фонарь). Внутри этого прибора, въ закрытомъ пространствѣ находится лампа, а изображеніе получается внѣ камеры.

На рис. 94 *m* представляетъ линзу (ихъ обыкновенно бываетъ нѣсколько), *a b* стеклянную пластинку съ прозрачной картиной. Такъ какъ обыкновенно изображеніе *A B* приходится воспроизводить въ большомъ масштабѣ, то весьма существенно, чтобы *a b* было освѣщено очень сильно. Линза *L* и вогнутое зеркало *M* и служатъ для того, чтобы возможно сильнѣе освѣтить воспроизводимую на экранѣ картинку.

Иногда фокусники показываютъ такія картины на большомъ экранѣ, пользуясь для этого нерѣдко даже двумя фонарями; работая ими одновременно или поочередно, можно получать, дѣйствительно, превосходныя картины.

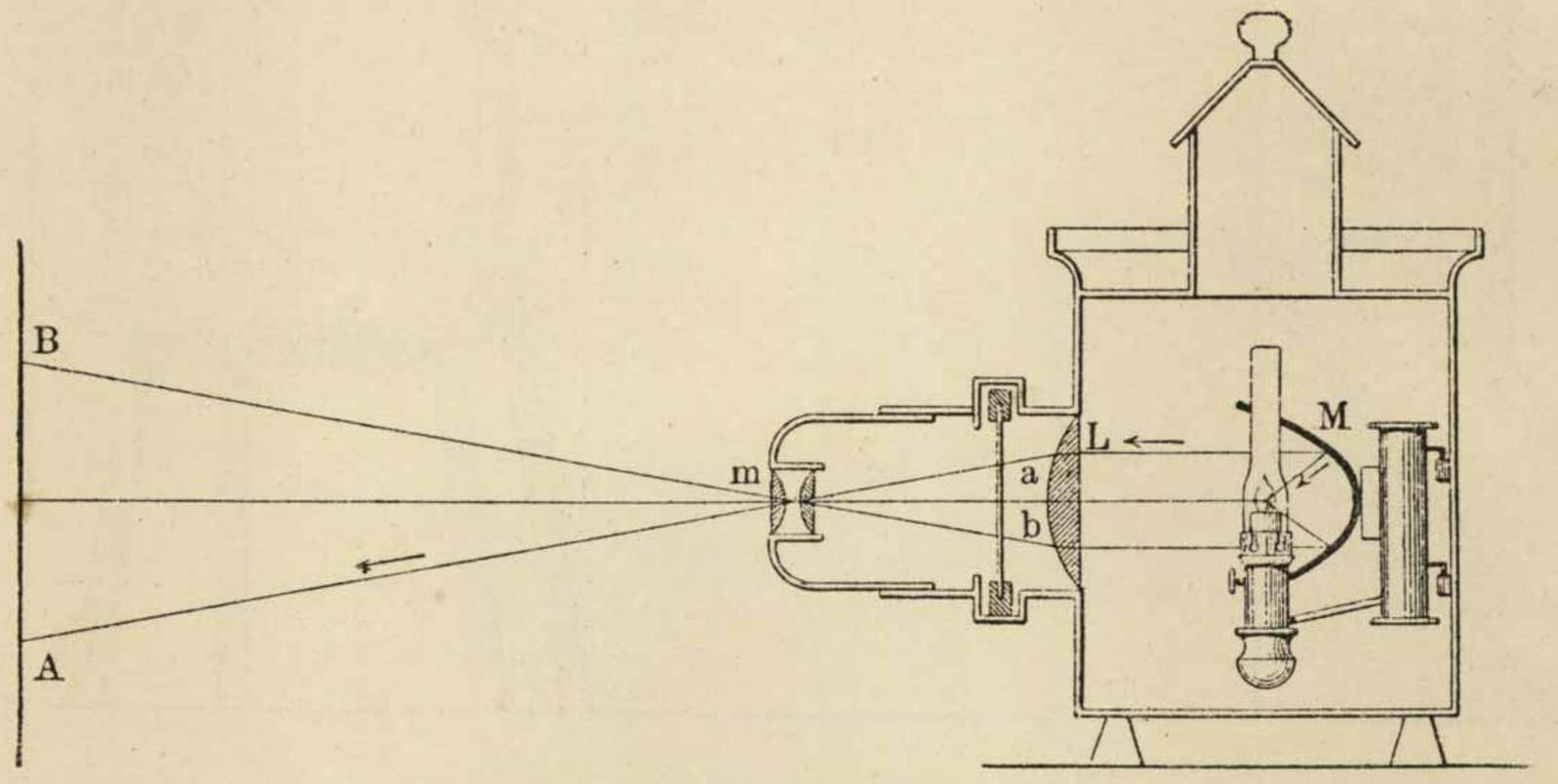
Этотъ приборъ въ послѣднее время получилъ, подъ названіемъ скіоптикона, еще большее значеніе. Онъ дѣлается тщательнѣе, чѣмъ обыкновенная Laterna magica, и употребляется для того, чтобы показывать болѣе многочисленной аудиторіи изображенія произведеній искусства, картины астрономическаго и физическаго содержанія, ландшафты и т. п. Въ продажѣ имѣется огромное количество фотографій на стеклѣ (діапозитивовъ) для этой цѣли.

Если такой приборъ сдѣланъ очень тщательно, такъ что можетъ давать рѣзкія изображенія при очень значительномъ увеличеніи, то имъ можно пользоваться для показыванія микроскопическихъ объектовъ. Для этого требуется очень сильное освѣщеніе, которое можно получить при помощи солнечнаго, электрическаго или Друммондова свѣта.

http://mathesis.ru

103. Теоретики и практики, усердно занимавшіеся, какъ было указано, изученіемъ изображеній, которыя получаются отъ зеркалъ и линзъ, не могли не натолкнуться на мысль соединять нѣсколько зеркалъ или линзъ, чтобы получать изображеніе отъ изображенія. Изъ такихъ комбинацій и выработались постепенно зрительная труба и микроскопъ. Честь ихъ изобрѣтенія не принадлежитъ одному опредѣленному лицу. Это, однако, имѣетъ второстепенное значеніе, когда мы имѣемъ въ виду познаніе самыхъ законовъ свѣта, которое имѣетъ больше значенія, чѣмъ всѣ услуги, оказанныя этими инструментами какъ въ практической жизни, такъ и въ наукѣ.

Рис. 94



Laterna magica или волшебный фонарь.

Изобрѣтеніе зрительной трубы уходитъ въ область сказочныхъ преданій. Согласно одному магометанскому преданію, на александрійскомъ маякѣ находилось огромное зеркало, при помощи котораго можно было видѣть корабли, отплывавшіе изъ Греціи. Однако, вслѣдствіе кривизны земли корабли можно было бы съ этого маяка видѣть только уже довольно далеко отъ Греціи. Если это преданіе основано вообще на чемъ-нибудь дѣйствительномъ, то, конечно, прежде всего нужно предполагать, что тамъ была комбинація большого вогнутаго зеркала съ линзой. Нѣчто подобное повѣствуется и о большой башнѣ въ Рагузѣ. Иногда изобрѣтателемъ зрительной трубы называютъ Роджера Бэкона; но изъ его книги можно, пожалуй, заключить только, что онъ представлялъ себѣ возможность сочетанія линзъ и зеркалъ, хотя самъ едвали владѣлъ такимъ приборомъ.

Гораздо яснѣе выражается объ этомъ итальянскій врачъ Фракасторо изъ Вероны (1483—1553). Въ своемъ трудѣ, появившемся въ 1538 г., онъ говоритъ, что можно видѣть предметы гораздо ближе и въ увеличенномъ видѣ, положивъ двѣ линзы одну надъ другой. Если понимать это „надъ“ буквально, то, конечно, это можетъ означать микроскопъ.

Еще яснѣе пишетъ объ этомъ въ своемъ большомъ изданіи „Естественной магіи“ Порта въ 1589 г.: „Посредствомъ вогнутаго стекла ясно видны далекіе предметы, при помощи выпуклаго — близкіе. Но если правильно соединить оба эти рода стеколъ, то какъ близкіе, такъ и далекіе предметы кажутся большіе и яснѣе. Я оказалъ большую услугу многимъ своимъ друзьямъ, у которыхъ были плохіе глаза, и далъ имъ возможность видѣть ясно“. Эти слова едвали могутъ вызывать сомнѣнія;

http://mathesis.ru

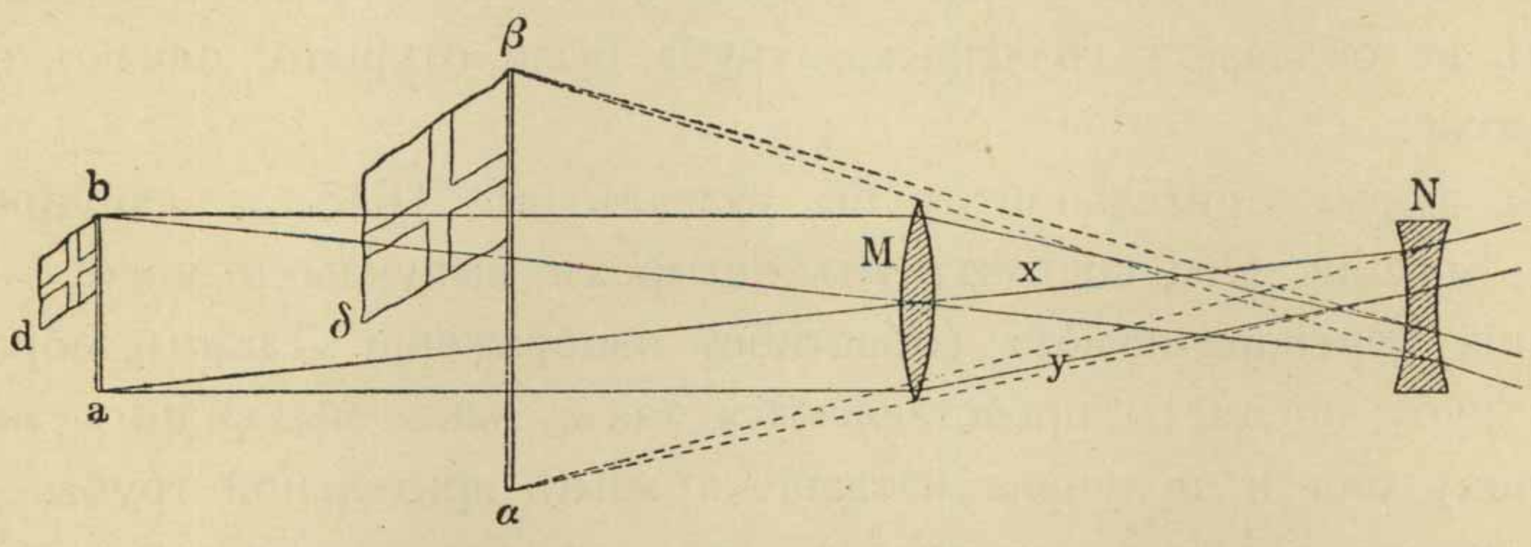
съ другой стороны, однако, почти непонятно, чтобы человѣкъ, подобный Портѣ, былъ знакомъ съ такимъ важнымъ изобрѣтеніемъ и не описалъ его подробно, не оповѣстилъ о тѣхъ открытіяхъ, которыя онъ могъ сдѣлать на небѣ со сколько-нибудь порядочной зрительной трубой. Конечно, зрительная труба, которою владѣлъ Порта, должна была увеличивать очень мало. Но его книга, нашедшая широкое распространеніе, можетъ быть, способствовала тому, что этимъ вопросомъ заинтересовались и другіе.

Очевидно, въ результатѣ всѣхъ этихъ занятій и явилось то, что въ 1608 г. голландскому правительству было заявлено требованіе о выдачѣ патента на зрительную трубу почти одновременно съ нѣсколькихъ сторонъ. То обстоятельство, что правительство не хотѣло дать патента ни одному изъ соискателей, а желало заплатить гонораръ за хорошо сдѣланный инструментъ одному изъ нихъ, доказываетъ, можетъ быть, лучше всего, что ни одного изъ соискателей и нельзя было считать настоящимъ изобрѣтателемъ. Если иногда называютъ изобрѣтателемъ Липперсгея, Меція или Янсена, то это, конечно, слѣдуетъ понимать такъ, что каждый изъ нихъ трехъ изготовилъ годный къ употребленію инструментъ. Во всякомъ случаѣ эти работы заслуживаютъ всей нашей признательности, и названіе зрительныхъ трубъ этого рода, которыя впервые тогда появились въ Голландіи, именемъ „Голландскаго“ телескопа вполнѣ справедливо.

Когда въ Италію дошли слухи объ этихъ инструментахъ, одинъ телескопъ такого же рода соорудилъ Галилей. Поэтому его называютъ также Галилеевой зрительной трубой.

Галилеева труба состоитъ изъ двухъ линзъ: собирательной M (рис. 95) и разсѣивающей N. Собирательная линза должна давать маленькое изображеніе предмета $a\,b\,d$. Но еще прежде, чѣмъ получится это изображеніе, лучи попадаютъ на разсѣивающую линзу N, которая даетъ имъ другое направленіе.

Рис. 95



Голландская или Галилеева зрительная труба.

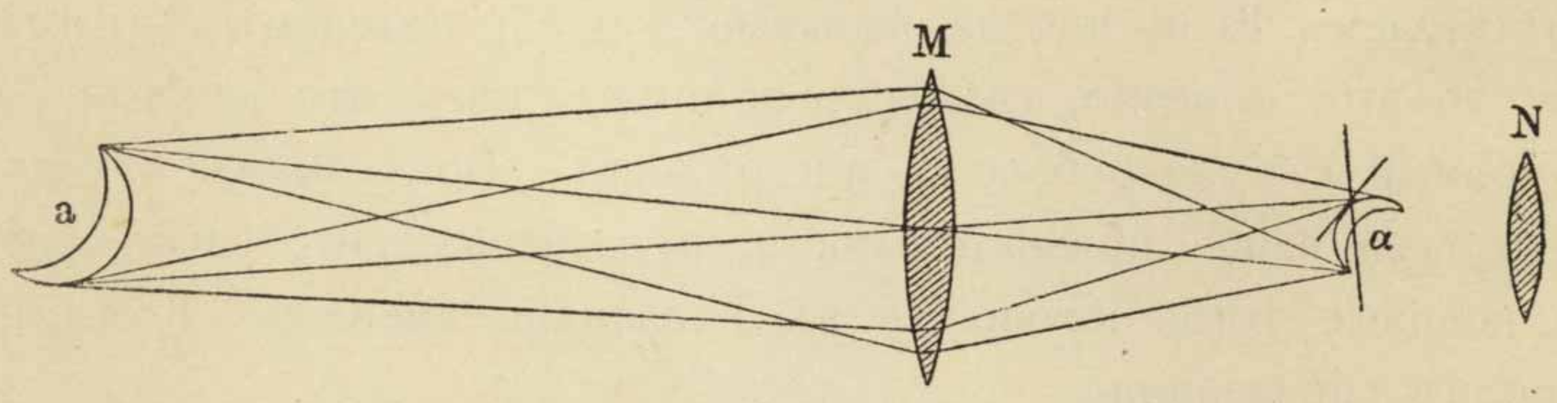
Такимъ образомъ, лучи $a\,x$ и $a\,y$ не соединяются, а отклоняются этой линзой вверхъ (въ сторону отъ преломляющаго ребра) и въ то же время разсѣиваются, такъ что кажется, что они идутъ изъ точки α. Такимъ же образомъ лучи, идущіе отъ b и d, производятъ на глазъ впечатлѣніе, будто они идутъ отъ β и δ. Поэтому предметъ кажется ближе и больше. Линзы заключаются въ трубку, которая устраняетъ посторонній свѣтъ. Длину трубки можно мѣнять и этимъ устанавливать приборъ сообразно разстоянію предмета и устройству глаза. А что это необходимо, было извѣстно уже Кеплеру въ 1610 г.

http://mathesis.ru

104. Въ 1611 году Кеплеръ издалъ оптику, въ которой предложилъ нѣсколько другихъ зрительныхъ трубъ. Важнѣйшее изъ этихъ предложеній было осуществлено нѣсколькими годами позже его землякомъ, ученымъ іезуитомъ Шейнеромъ (1575—1650). Эта зрительная труба получила названіе Кеплеровой или астрономической. Она состоитъ изъ двухъ выпуклыхъ линзъ (рис. 96). Одна изъ нихъ *M* даетъ дѣйствительное изображеніе α предмета *a*. Это изображеніе разсматривается другою линзой *N*, очень выпуклой, дѣйствующей, какъ обыкновенное увеличительное стекло.

Получаемое изображеніе — обратное. Поэтому такая зрительная труба неудобна для разсматриванія земныхъ предметовъ. Зато она имѣетъ и нѣкоторыя преимущества передъ голландской. Напримѣръ, здѣсь на томъ мѣстѣ, гдѣ получается изобра-

Рис. 96



Кеплерова или астрономическая зрительная труба.

женіе, можно помѣстить перекрестныя нити; ихъ можно при помощи линзы видѣть одновременно съ изображеніемъ предмета и, благодаря этому, можно направлять зрительную трубу на предметъ очень точно. Возможно также помѣщать на томъ же мѣстѣ трубы тонкія нити, передвигаемыя при помощи винта. Эти нити можно устанавливать такъ, чтобы онѣ касались опредѣленныхъ точекъ изображенія, напримѣръ, солнечныхъ краевъ и, такимъ образомъ, при помощи винта можно измѣрить величину этого изображенія. Это необычайно цѣнное свойство Кеплеровой зрительной трубы, которымъ не обладаетъ голландская труба, было открыто, однако, только 30 или 40 годами позже.

Другую форму зрительной трубы указалъ въ 1645 г. капуцинскій монахъ Ширль въ Богеміи. Она состоитъ изъ четырехъ выпуклыхъ линзъ, изъ которыхъ двѣ внутреннія переворачиваютъ (обратное) изображеніе. Такимъ образомъ, въ эту зрительную трубу предметы представляются такъ, какъ мы видимъ ихъ непосредственно, почему она и получила названіе земной зрительной трубы. Ширль первый назвалъ линзу, обращенную къ предмету, объективомъ, а обращенную къ глазу окуляромъ.

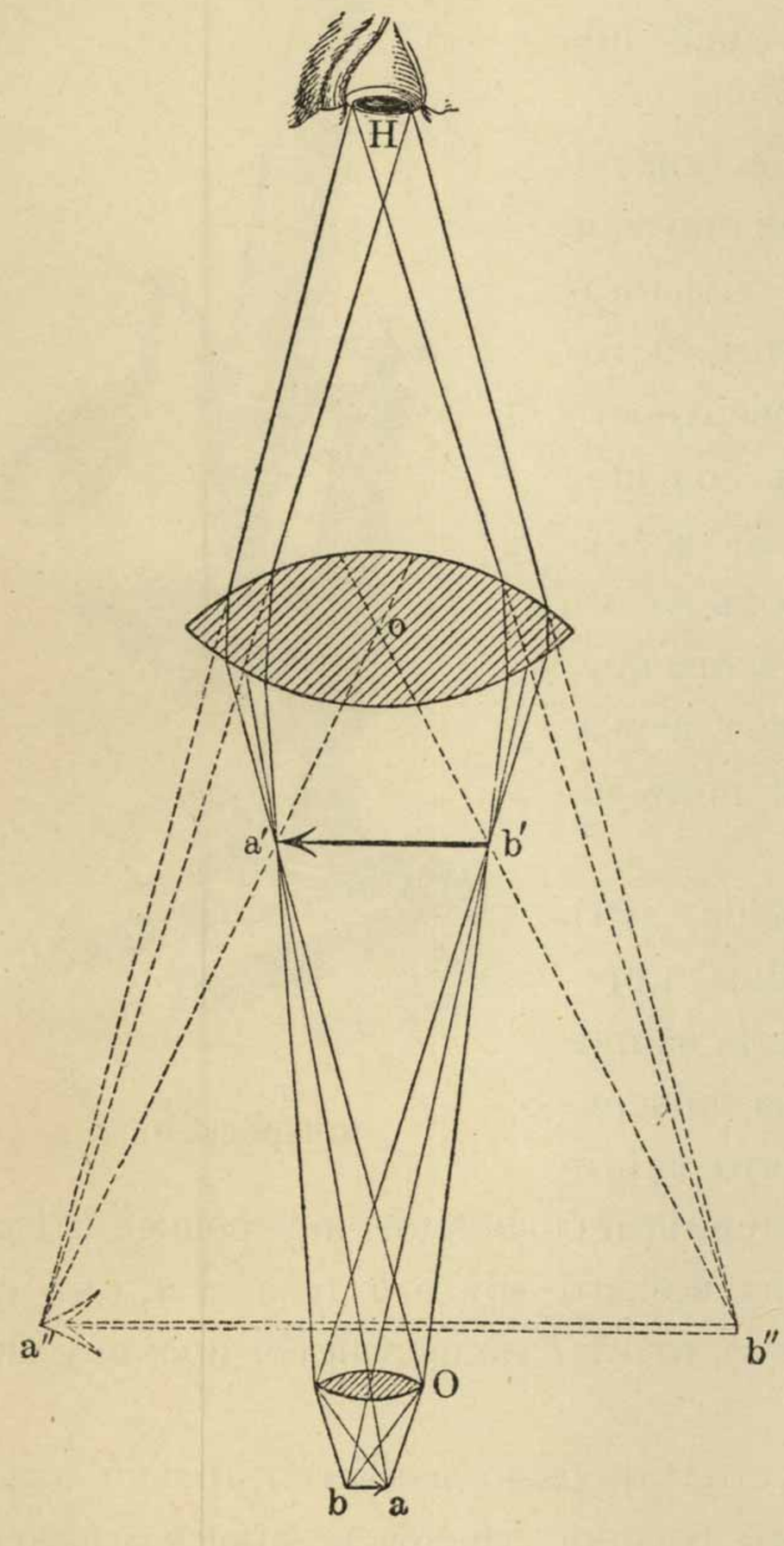
105. Раньше уже было упомянуто, что выпуклая линза или цѣлый шаръ могутъ служить увеличительнымъ стекломъ (§§ 94, 100). Вставленная въ оправу, такая линза называется лупой, а если она снабжена еще штативомъ, то — простымъ микроскопомъ. Сложный микроскопъ былъ изобрѣтенъ одновременно съ зрительной трубой, и большія заслуги въ дѣлѣ его сооруженія принадлежатъ опять-таки голландцамъ, а именно Іенсену.

Небольшая очень выпуклая линза *O* (теперь вмѣсто нея берутъ соединеніе нѣсколькихъ линзъ) даетъ дѣйствительное изображеніе $a'\,b'$ предмета $a\,b$ (рис. 97); это

http://mathesis.ru

изображеніе разсматривается въ линзу *o*, какъ предметъ разсматривается въ лупу. Получается мнимое изображеніе *a″ b″*. Такъ какъ изображеніе гораздо больше предмета, то его приходится сильно освѣщать; лучше всего это достигается при помощи свѣта, падающаго на препаратъ, лежащій на стеклянной пластинкѣ, снизу. Для того, чтобы получить всѣ лучи, идущіе изъ окулярной линзы, глазъ долженъ находиться на томъ мѣстѣ, которое указано на чертежѣ. Все это устанавливается на штативѣ, который изображенъ на рис. 98. Трубка находится противъ отверстія въ столикѣ, на которомъ лежитъ стеклянная пластинка съ препаратомъ и къ которому можно приближать трубку больше или меньше посредствомъ винта. Ниже этого столика помѣщается зеркало, которое можно повернуть въ любое положеніе; оно служитъ для того, чтобы отбрасывать свѣтъ лампы или дневной свѣтъ сквозь препаратъ въ трубку. Непрозрачные предметы освѣщаются сверху при помощи особой линзы. Для удобства микроскопу можно давать болѣе или менѣе наклонное положеніе.

Рис. 97



Объясненіе микроскопа.

106. Такъ постепенно создавался цѣлый рядъ полезныхъ инструментовъ, основанныхъ на преломленіи свѣта, несмотря на то, что законъ преломленія свѣта еще не былъ точно извѣстенъ. Альгазенъ зналъ (§ 94), что формулированный Птолемеемъ законъ неправиленъ. По мнѣнію Птолемея отношеніе между угломъ паденія и угломъ преломленія всегда должно оставаться однимъ и тѣмъ же, напримѣръ, для воздуха и воды оно должно быть всегда 4 : 3.

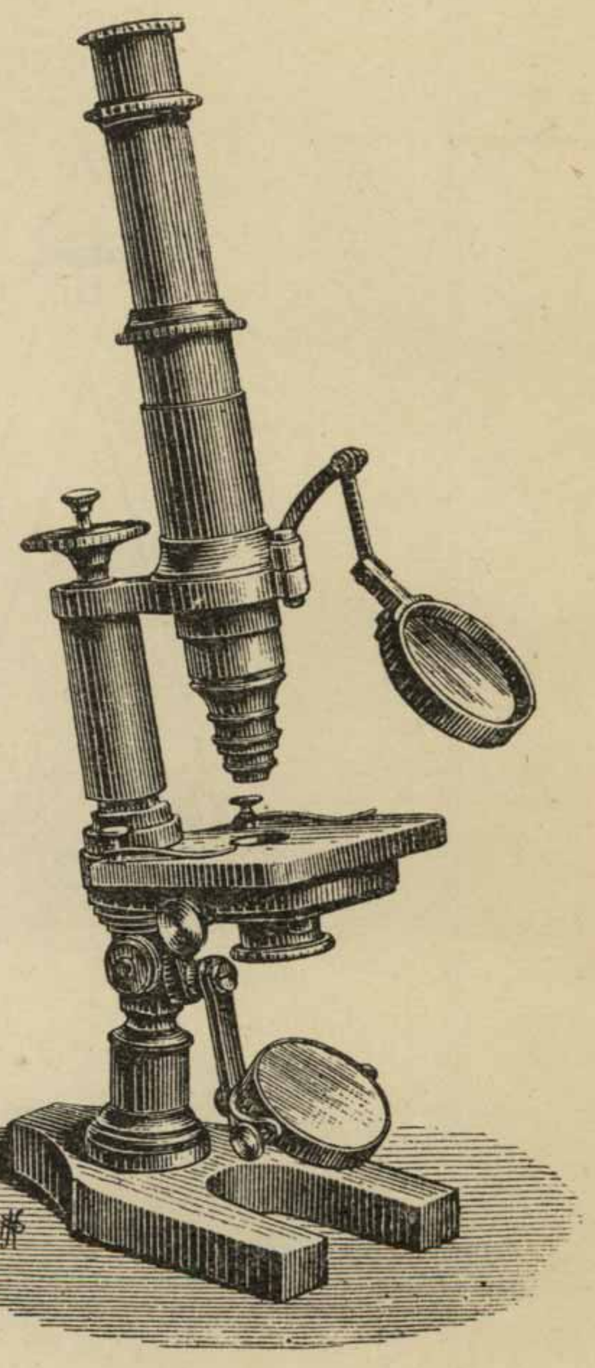
Наконецъ, талантливый молодой голландецъ Виллибрордъ Снелль или Снелліусъ, родившійся въ 1591 г., профессоръ математики въ Лейденѣ (ум. 1626 г.), нашелъ этотъ законъ. Однако, опубликованъ онъ былъ впервые Декартомъ въ 1637 г. и даже безъ указанія, кѣмъ онъ былъ открытъ, такъ что часто открытіе закона приписывали самому Декарту. Снелліусъ написалъ объ этомъ законѣ книгу, не напечатанную, однако, и, вѣроятно, познакомилъ съ нею Декарта во время его пребыванія въ Голландіи. Этотъ законъ можно формулировать слѣдующимъ образомъ (рис. 99): если отъ точки *o*, въ которой лучъ проходитъ границу между взятыми срединами, отложить на обѣихъ частяхъ луча равные отрѣзки *ol* и *os*, провести чрезъ *l* и *s* линіи, параллельныя раздѣляющей поверхности, до перпендикуляра къ этой поверхности, то отношеніе этихъ двухъ параллельныхъ отрѣзковъ для каждой пары веществъ имѣетъ вполнѣ опредѣленное

http://mathesis.ru

значеніе (напримѣръ, для воздуха и воды оно составляетъ 4 : 3), независимо отъ того, какой уголъ составляетъ лучъ съ границей, раздѣляющей взятыя средины[1]).

107. Если лучъ $a\,o$ (рис. 100) будетъ идти въ направленіи $o\,a_1$, лучъ $b\,o$ въ направленіи $o\,b_1$, лучъ $c\,o$ въ направленіи $o\,c_1$ и горизонтальный лучъ $d\,o$ въ направленіи $o\,d_1$, такъ что $o\,d$ или $o\,d_1$ относится къ $d_1\,\delta$, какъ 4 къ 3, то эти лучи будутъ и въ обратномъ направленіи проходить тѣмъ же путемъ. Лучъ, который приходитъ къ поверхности, раздѣляющей средины, въ направленіи $d_1\,o$, такимъ образомъ выходитъ изъ нея горизонтально, т. е. въ направленіи поверхности воды. Повидимому, Кеплеръ первый задалъ вопросъ и указалъ, какъ долженъ идти въ водѣ лучъ, который, какъ $e_1\,o$, идетъ еще ближе къ поверхности. Согласно закону преломленія свѣта такой лучъ не можетъ перейти въ воздухъ. Кеплеръ[2]) нашелъ, что онъ полностью отражается отъ раздѣляющей поверхности и притомъ по общему закону отраженія.

Рис. 98



Микроскопъ.

Значитъ, въ спокойную воду весь свѣтъ вступаетъ по направленіямъ, отклоняющимся отъ перпендикуляра паденія ни въ какомъ случаѣ не дальше $o\,d_1$. Слѣдовательно, въ этомъ направленіи рыбѣ представляется ея горизонтъ, рисующійся ей въ видѣ круга на поверхности воды. Дальше вверхъ она видитъ — какъ сквозь большое окно — тѣ предметы, которые находятся выше въ воздухѣ, а равно и предметы, находящіеся въ водѣ въ этомъ направленіи. Но дальше въ сторону, т. е. внѣ этого круга, поверхность воды представляетъ совершенное зеркало, въ которомъ отражается все, что находится подъ водою (рис. 101).

Вслѣдствіе полнаго внутренняго отраженія лучъ свѣта не можетъ пройти сквозь призму, стороны которой образуютъ достаточно большой уголъ. Пусть, напримѣръ, линія $a\,b$ (рис. 102) образуетъ съ двумя поверхностями призмы $o\,a$ и $o\,b$ такіе малые углы, что свѣтовой лучъ не можетъ выйти изъ призмы и претерпѣваетъ полное внутреннее отраженіе; очевидно, то же будетъ имѣть мѣсто и для всякаго другого луча $m\,n$; онъ сможетъ войти въ призму по направленію $n\,b$, но въ точкѣ b подвергнется полному внутреннему отраженію.

108. Какъ сказано выше, вплоть до XVII столѣтія было извѣстно только два закона о лучахъ свѣта: законъ ихъ прямолинейнаго распространенія и законъ отраженія; кое что было извѣстно и о третьемъ законѣ — законѣ преломленія, который былъ понятъ вполнѣ, однако, только уже въ этомъ столѣтіи. Но греки и ихъ преемники

---

[1]) Математически этотъ законъ выражается очень просто. Если i есть уголъ паденія, b уголъ преломленія, а n постоянное отношеніе, то

$$\frac{\sin i}{\sin b} = n.$$

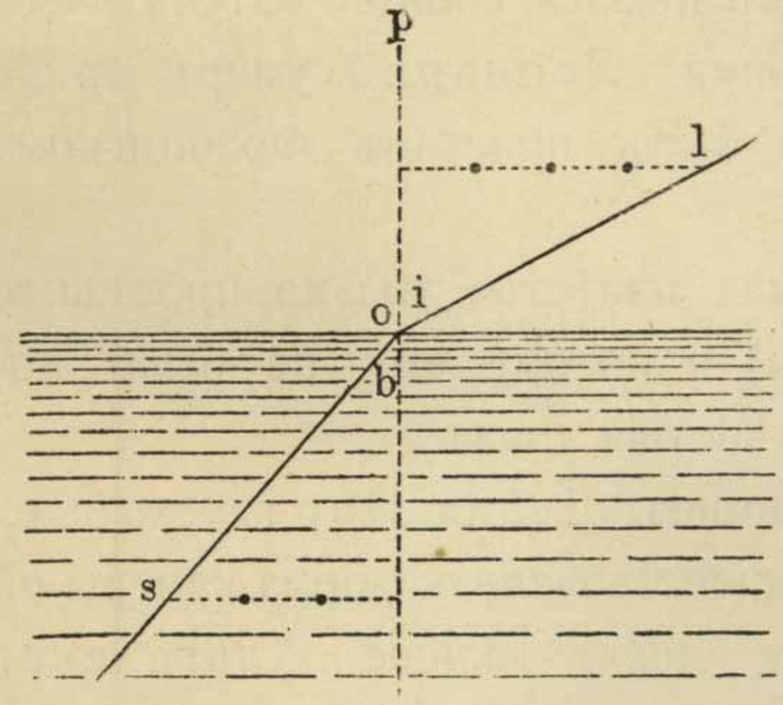
[2]) При жизни Кеплера точный законъ преломленія еще не былъ извѣстенъ.

http://mathesis.ru

умѣли хорошо воспользоваться и этими немногими фактами. Къ этому же періоду относится и постепенное ознакомленіе съ устройствомъ глаза.

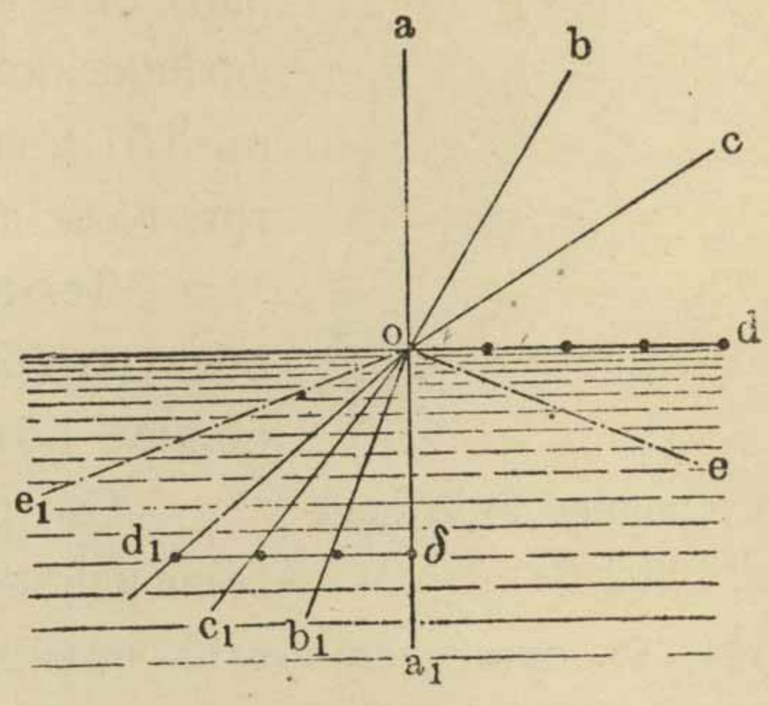
Объ устройствѣ глаза греки не знали, повидимому, ничего. Аристотель думалъ, что между глазомъ и предметомъ должно быть извѣстное количество воздуха для того, чтобы свѣтъ могъ распространяться; въ самомъ дѣлѣ, если держать предметъ совсѣмъ

Рис 99



Законъ преломленія свѣта.

Рис. 100



Полное внутреннее отраженіе.

близко къ самому глазу, то его нельзя видѣть ясно. Евклидъ думаетъ, что лучъ свѣта, дающій намъ возможность видѣть, есть безконечно-тонкая (математическая) линія. Напротивъ того, Альгазенъ не довольствуется умозрѣніемъ; онъ разсѣкаетъ глазъ и описываетъ его различныя части. Онъ полагаетъ, что отъ каждой точки предмета долженъ выходить не одинъ лучъ, а цѣлый пучекъ лучей, конусъ лучей, вступающій

Рис. 101



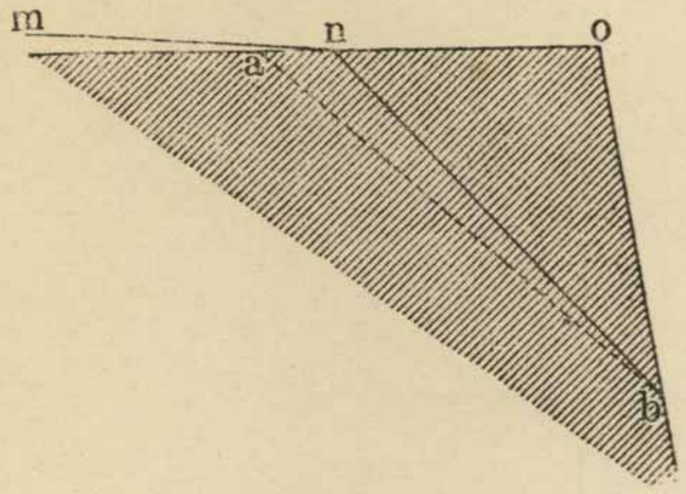
Поле зрѣнія рыбы.

въ глазъ черезъ зрачокъ, какъ черезъ окно въ комнату. Непосредственно позади зрачка онъ находитъ хрусталикъ — прозрачное кругловатое, нѣсколько сплющенное тѣло, которое и считаетъ органомъ зрѣнія.

http://mathesis.ru

109. Честь перваго указанія, что глазъ есть родъ камеры-обскуры, принадлежитъ Леонардо да Винчи. Онъ родился близъ Флоренціи въ 1452 г. Въ молодости Леонардо провелъ нѣсколько лѣтъ въ Египтѣ на службѣ Каирскаго султана, позднѣе жилъ въ Верхней Италіи, гдѣ прославился, какъ живописецъ, скульпторъ, архитекторъ, музыкантъ и математикъ. Ему принадлежитъ сочиненіе о живописи, при составленіи котораго онъ широко пользовался своими математическими и физическими познаніями. Леонардо умеръ во Франціи въ 1519 году, куда былъ призванъ Франциском I за три года до того.

Рис. 102



Полное внутреннее отраженіе въ призмѣ.

Леонардо была извѣстна только простая камера-обскура (безъ линзы) и потому ему не было доступно полное объясненіе дѣйствія глаза.

Съ другой стороны, Делла Порта, хотя ему уже была извѣстна усовершенствованная форма камеры-обскуры (съ линзой), въ существенномъ, повидимому, не ушелъ дальше Альгазена, такъ какъ и онъ считаетъ хрусталикъ тѣмъ органомъ, на который дѣйствуетъ свѣтъ.

Впервые правильно опредѣляетъ роль хрусталика Мавроликъ; онъ говоритъ, что хрусталикъ дѣйствуетъ, какъ стеклянная линза, тогда какъ зрительное воспріятіе должно возникать въ глазу дальше, позади хрусталика. Если эта линза имѣетъ слишкомъ большую кривизну, то ея дѣйствіе нужно исправить при помощи отшлифованныхъ вогнутыхъ очковъ (близорукій глазъ). Если же, наоборотъ, ея кривизна слишкомъ мала, то этому можно помочь выпуклыми стеклами (дальнозоркій глазъ). Впрочемъ, очки были извѣстны уже съ XIII вѣка. Ихъ изобрѣтателемъ обыкновенно называютъ флорентійца Сальвино дельи Армати (ум. въ 1317 г.); объ этомъ, по крайней мѣрѣ, свидѣтельствуетъ надпись на его могилѣ. Конечно, это открытіе было сдѣлано безъ яснаго пониманія вопроса, а только благодаря случаю и пробамъ.

110. Наконецъ, Кеплеръ далъ правильное объясненіе функціи глаза, стоившее ему, по его собственнымъ словамъ, трехъ лѣтъ работы. Онъ говоритъ, что въ задней части глаза получается дѣйствительное изображеніе совершенно такъ, какъ оно образуется на задней стѣнкѣ камеры-обскуры. Это изображеніе должно быть обратное. А что мы, несмотря на это, видимъ предметы въ правильномъ положеніи, по мнѣнію Кеплера, обусловливается тѣмъ, что каждое мѣсто сѣтчатки получаетъ какъ бы толчекъ и мы, уже душевною дѣятельностью, сводимъ причину этого толчка на направленіе, по которому приходитъ толчокъ.

Теперь объясненіе дѣйствія очковъ было очень просто. Если хрусталикъ не даетъ на задней стѣнкѣ глаза отчетливаго изображенія, то очки того или другого рода увеличиваютъ или уменьшаютъ способность хрусталика собирать лучи, такъ что лучи собираются на надлежащемъ мѣстѣ.

Менѣе удачно была объяснена Кеплеромъ способность аккомодаціи глаза, т. е. способность приспособляться къ различнымъ разстояніямъ. Чѣмъ ближе предметъ, тѣмъ дальше получается изображеніе; Кеплеръ думалъ, что глазъ обладаетъ способностью больше или меньше удлиняться соотвѣтственно тому, находится ли предметъ ближе или дальше.

111. Правильное объясненіе аккомодаціи далъ Шейнеръ (§ 104), который на-

http://mathesis.ru

блюдалъ изображенія въ глазу быка, а затѣмъ и въ человѣческомъ глазу, соскоблив-ши заднюю стѣнку глаза настолько, что изображеніе могло просвѣчивать сквозь нее.

Оболочка глаза состоитъ частью изъ прозрачной роговой оболочки *C* (рис. 104), отчасти изъ твердаго бѣлка *E S E*, покрытаго съ внутренней стороны темной сѣтчат-кой, на которой находится сѣть тонкихъ нервовъ. Эта сѣть состоитъ изъ развѣтвле-ній волоконъ зрительнаго нерва. Лучи свѣта, пройдя чрезъ роговую оболочку, даль-ше идутъ сквозь водянистую влагу, проходятъ круглое отверстіе радужной оболоч-ки, зрачекъ *K*, хрусталикъ *L*, затѣмъ проходятъ сквозь стекловидное тѣло *M* и, нако-нецъ, попадаютъ на сѣтчатку, на которой и даютъ изображеніе.

Рис. 103



Леонардо да Винчи.

Шейнеръ объяснялъ способность аккомодаціи глаза тѣмъ, что форма хрусталика можетъ слегка измѣняться, благодаря напряженію извѣстныхъ мускуловъ. Онъ нашелъ, что хрусталикъ обладаетъ болѣе значительной преломляющей силой, чѣмъ другія ве-щества, сквозь которыя свѣтъ проходитъ на своемъ пути въ глазу. Потому сжатіе этой линзы производитъ то, что она собираетъ лучи слабѣе и, такимъ образомъ, уста-навливается на болѣе значительное разстояніе; утолщеніе же хрусталика производитъ болѣе сильное преломленіе и устанавливаетъ глазъ на менѣе значительныя разстоя-нія. Способность аккомодаціи имѣетъ естественный предѣлъ и потому должно су-ществовать извѣстное разстояніе яснаго зрѣнія; по объясненію же Аристотеля, какъ было указано, причина этого должна заключаться въ томъ, что между глазомъ и предметомъ долженъ находиться воздухъ.

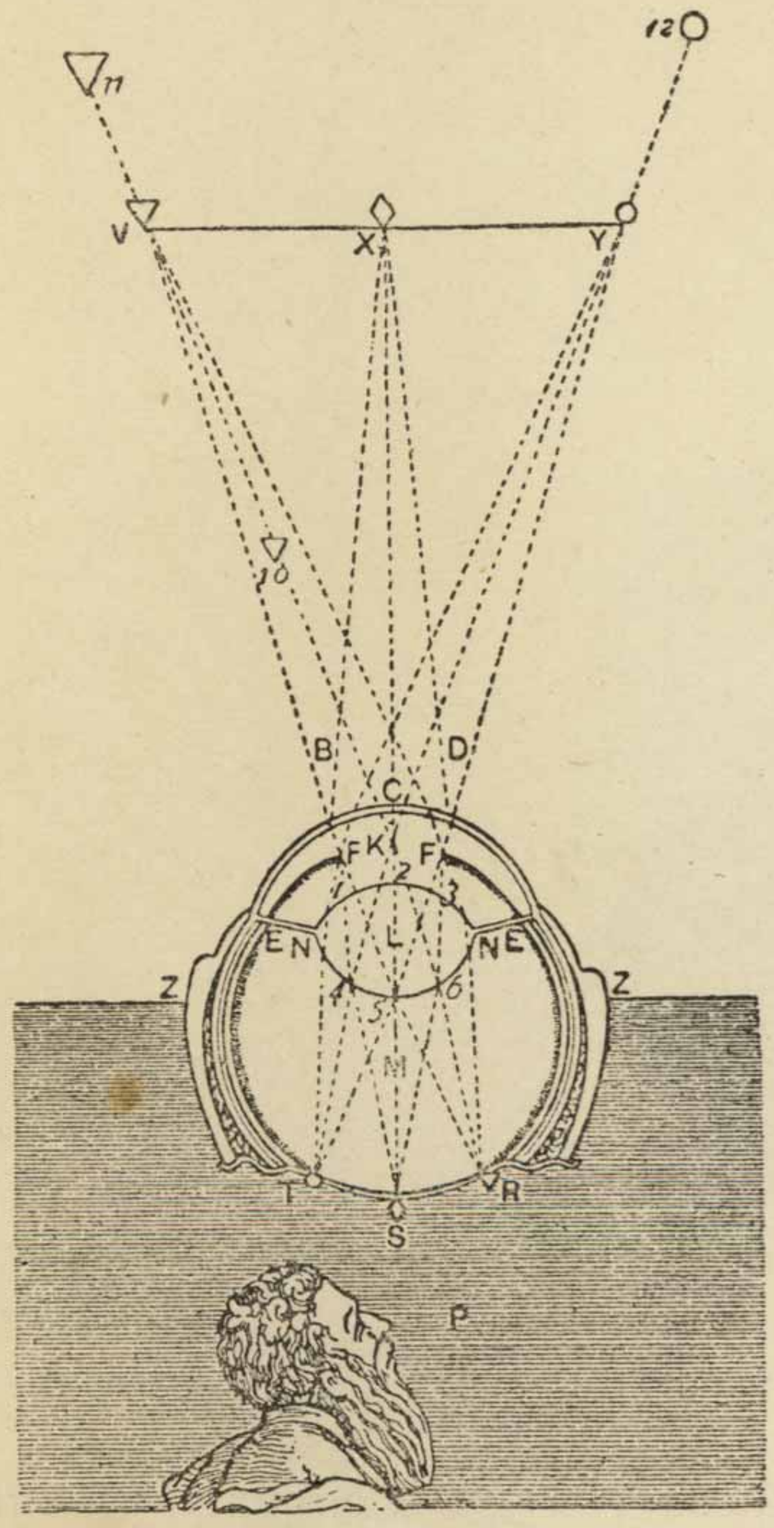
Рис. 105 показываетъ изображенія, которыя образуются въ глазу, направлен-номъ на два свѣтящихся квадрата: *a* есть изображеніе, образованное роговой обо-лочкой (выпуклое зеркало), *b* — изображеніе отъ передней стороны хрусталика (бо-

http://mathesis.ru

лѣе плоское выпуклое зеркало) и *c* — изображеніе, полученное отъ задней стороны хрусталика (вогнутое зеркало). Глазъ *A* установленъ на далекое разстояніе, глазъ *B* на близкое. Изображенія, получаемыя отъ передней стороны хрусталика, измѣняютъ свою величину, когда глазъ устанавливается на другое разстояніе.

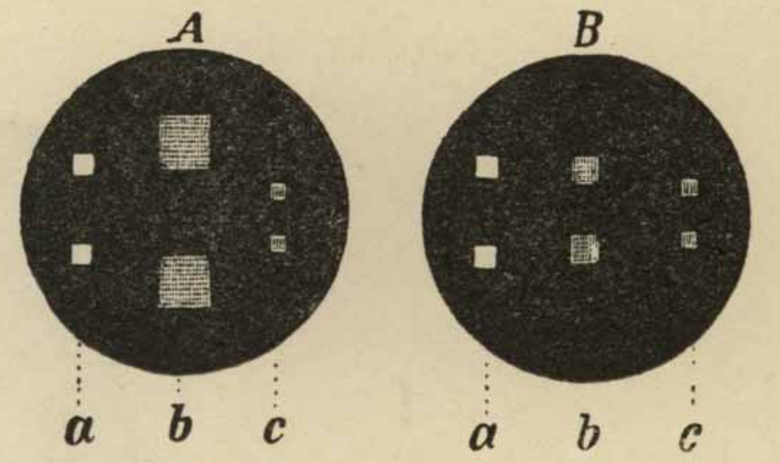
Радужная оболочка управляется кольцеобразнымъ мускуломъ, изъ котораго исходитъ множество нитей, подобныхъ лучамъ, такъ называемыхъ рѣсничныхъ отростковъ. Подъ дѣйствіемъ извѣстнаго нерва эти мускулы расширяютъ зрачекъ въ темнотѣ и суживаютъ его на свѣту. Это не оказываетъ никакого вліянія на величину и форму изображенія на сѣтчаткѣ и вліяетъ только на его яркость.

Рис. 104



Устройство глаза по Картезію.

Рис. 105



Отраженныя изображенія въ глазу, когда онъ смотритъ вдаль (*A*) или на близкое разстояніе (*B*).

Шейнеръ показалъ далѣе, что свѣтовые лучи, попадающіе на правую сторону задней стѣнки глаза, воспринимаются, какъ идущіе отъ лѣвой стороны предмета. Именно, если сквозь маленькое отверстіе (проткнутое спицой) въ кускѣ бумаги, который держится передъ самымъ глазомъ, смотрѣть на пламя и затѣмъ двигать лезвіе ножа между глазомъ и бумагой справа на лѣво, то это лезвіе ножа закрываетъ сначала лѣвую, а потомъ правую сторону пламени.

Зрительный нервъ вступаетъ въ глазъ не въ срединѣ задней стороны его, не тамъ, гдѣ мы видимъ яснѣе всего предметъ, который разсматриваемъ, а нѣсколько ближе къ носу. Когда французскій физикъ Маріоттъ занялся однажды изслѣдованіемъ чувствительности этого мѣста сѣтчатки, онъ нашелъ, къ своему удивленію, что это мѣсто совершенно не чувствительно къ свѣту. Въ этомъ можно легко убѣдиться, закрывъ лѣвый глазъ, направивъ правый на крестъ и затѣмъ приблизивъ бумагу на разстояніе приблизительно 20 *см* и удаляя ее, пока пятно справа не исчезнетъ.





Если предметъ освѣщенъ въ достаточной степени или свѣтитъ собственнымъ

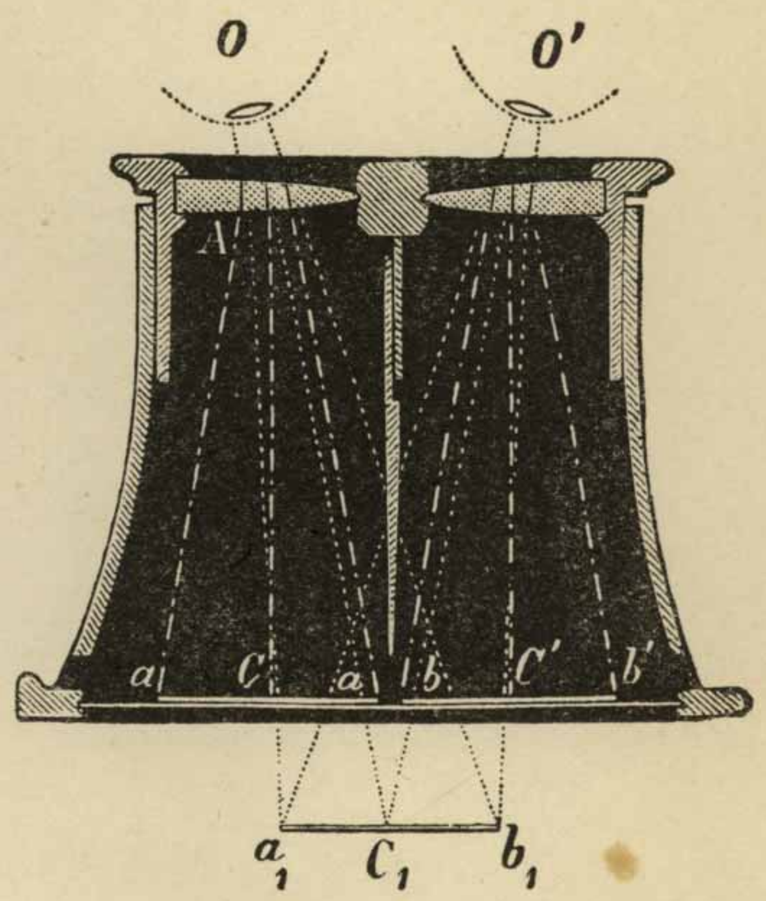
http://mathesis.ru

свѣтомъ, то для того, чтобы онъ произвелъ свое дѣйствіе на глазъ, достаточно одного мгновенія.

Ночью бываетъ достаточно молніи, которая не продолжается и одной тысячной доли секунды, чтобы вызвать въ глазу ясное впечатлѣніе окружающихъ предметовъ. Напротивъ, разъ полученное впечатлѣніе исчезаетъ не сразу. Поэтому движущійся огненный предметъ кажется огненной линіей. По той же причинѣ движущійся желѣзнодорожный поѣздъ, освѣщенный въ темнотѣ молніей, производитъ впечатлѣніе неподвижнаго, — продолжительность освѣщенія такъ коротка, что замѣтить какое-нибудь измѣненіе въ положеніи поѣзда и его колесъ невозможно. На этомъ же основанъ и тауматропъ, въ простѣйшей формѣ состоящій изъ куска картона, на обѣихъ сторонахъ котораго есть рисунокъ, напримѣръ, на одной птица, а на другой клѣтка. Если укрѣпить на сторонахъ этого картона концы нитки и затѣмъ, крутя эту нитку, привести картонъ въ быстрое вращеніе, то эти два изображенія будутъ слѣдовать на сѣтчаткѣ такъ быстро одно за другимъ, что глазъ увидитъ одинъ рисунокъ — птицу въ клѣткѣ.

Каждый глазъ видитъ предметъ съ того мѣста, гдѣ онъ находится, и поэтому правый глазъ видитъ его немного больше справа, а лѣвый глазъ — слѣва. Такимъ образомъ, изображеніе предмета въ правомъ глазу нѣсколько отличается отъ изображенія въ лѣвомъ. Леонардо да Винчи говоритъ, что картина никогда не можетъ производить полной иллюзіи на оба глаза, такъ какъ каждый глазъ долженъ давать свое отдѣльное изображеніе предмета. Англичанину Витстону, однако, удалось вызвать въ каждомъ глазу то впечатлѣніе, которое необходимо, чтобы получилось ощущеніе, какое даетъ тѣлесный предметъ.

Рис. 106



Стереоскопъ.

Для этой цѣли былъ построенъ стереоскопъ, усовершенствованный Брустеромъ (рис. 106). Двѣ линзы, сквозь которыя оба глаза разсматриваютъ двѣ слегка отличающіяся одна отъ другой фотографіи, имѣютъ въ то же время форму призмъ, чѣмъ легче достигается совпаденіе этихъ двухъ изображеній.

http://mathesis.ru

http://mathesis.ru

Сила

Равновѣсіе твердыхъ тѣлъ

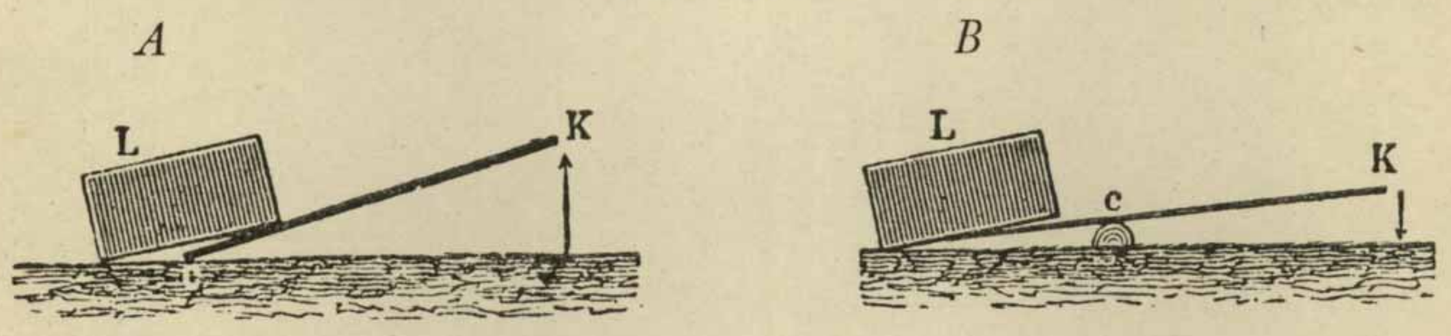
http://mathesis.ru

http://mathesis.ru

112. Громадныя развалины, оставленныя намъ древними (рис. 108), достаточно доказываютъ, что они умѣли обращаться съ такими массами, справиться съ которыми при помощи непосредственной мускульной силы совершенно невозможно. Перевозка и установка обелисковъ, которыми древніе египтяне украшали входы въ свои храмы, этихъ четыреугольныхъ каменныхъ колоннъ высотою до 40 *м*, были бы связаны съ большими трудностями даже теперь. Значитъ, у народовъ древности должны были быть въ распоряженіи средства для передвиженія тяжестей, для которыхъ простой мускульной силы не хватало; не можетъ подлежать сомнѣнію, что въ этомъ важная роль принадлежала рычагу.

Изобрѣтеніе рычага такъ естественно, что о времени его нельзя ничего сказать. Рычагъ какъ одноплечій, такъ и двуплечій, безъ сомнѣнія, былъ извѣстенъ задолго до того, какъ была достигнута высокая степень культуры, о которой свидѣтельствуютъ упомянутыя развалины. Рычагъ называется одноплечимъ, если онъ имѣетъ упоръ на одномъ изъ концовъ (рис. 107), если, слѣдовательно, грузъ *L* и рука (стрѣлка) находятся по одну сторону отъ точки опоры и, значитъ, дѣйствуютъ въ

Рис. 107



Одноплечій (*A*) и двуплечій (*B*) рычагъ.

противоположныхъ направленіяхъ, — грузъ внизъ, а рука вверхъ. Онъ получаетъ названіе двуплечаго, если грузъ *L* на одномъ концѣ его и рука на другомъ дѣйствуютъ по одному и тому же направленію (внизъ), тогда какъ опорой служитъ точка, лежащая между грузомъ и рукой. Можно легко замѣтить, что необходимая для движенія рычага сила тѣмъ меньше, чѣмъ ближе точка опоры лежитъ къ грузу.

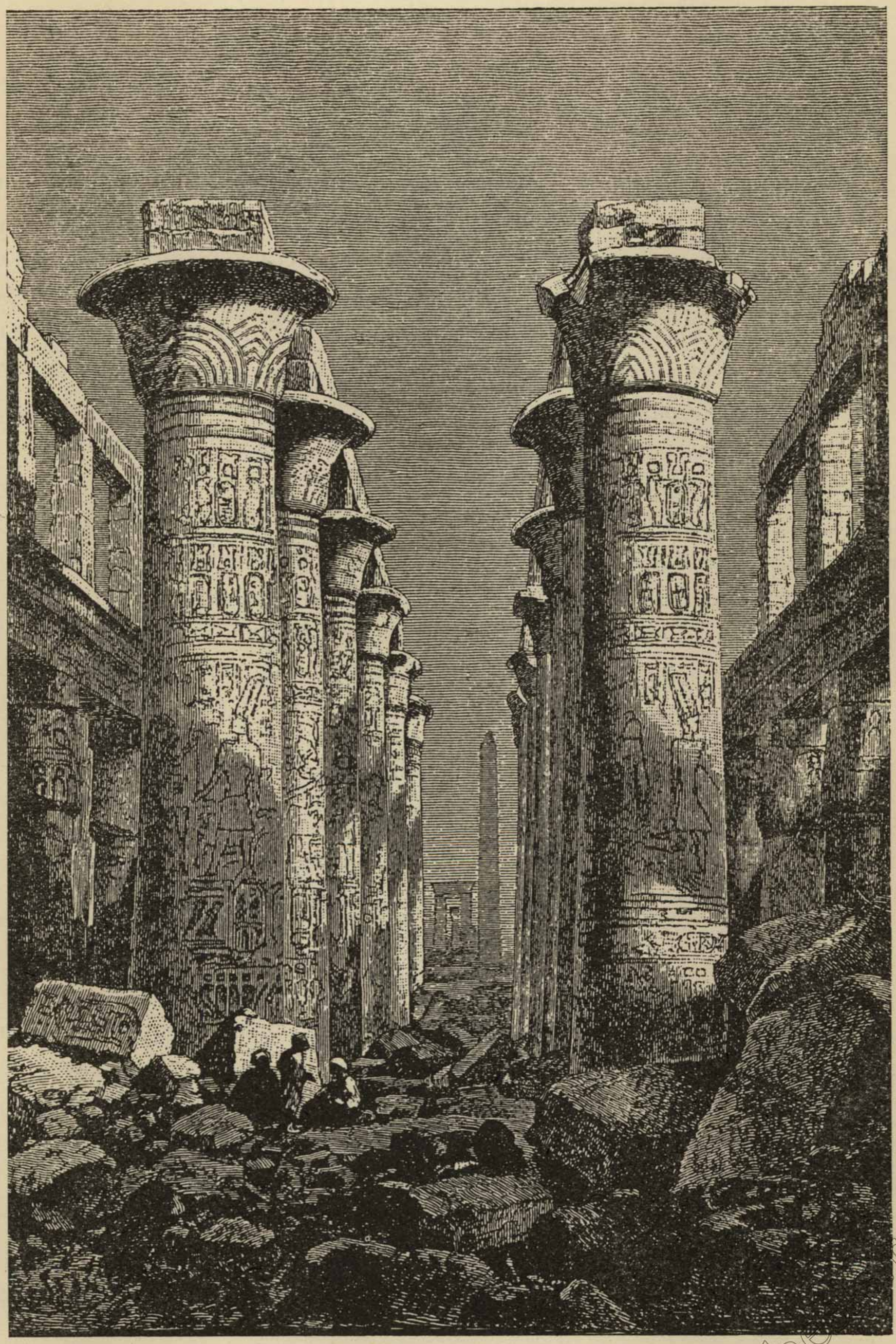
Примѣненіе рычага при возведеніи построекъ въ древности показываетъ рис. 109. Люди на переднемъ планѣ подталкиваютъ камень, лежащій на каткахъ, тогда какъ другіе подымаютъ камень двуплечими рычагами съ одной ступени пирамиды на другую.

113. Но умѣніе пользоваться подобными вспомогательными средствами, добытое опытомъ, еще не показываетъ, однако, что эти приборы были поняты по существу, и у насъ нѣтъ никакихъ доказательствъ того, что египетскіе жрецы, руководившеі этими сооруженіями, обладали болѣе глубокимъ пониманіемъ этихъ пріемовъ. Уже

http://mathesis.ru

то обстоятельство, что намъ постоянно приходится примѣнять ту или другую силу, можетъ наводить на такое пониманіе, но все же существенный шагъ впередъ былъ сдѣланъ лишь тогда, когда начали говорить о величинѣ силы — измѣрять силу.

Рис. 108



Развалины Карнакскаго храма въ Верхнемъ Египтѣ.

Халдеямъ, сумѣвшимъ измѣрить кругъ и углы (§ 11), равнымъ образомъ принадлежатъ значительные успѣхи и въ дѣлѣ измѣренія силы.

http://mathe

Всякое взвѣшиваніе есть уже собственно измѣреніе силы, именно той силы, которая тянетъ предметъ внизъ. Развитіе первыхъ приспособленій для взвѣшиванія те-

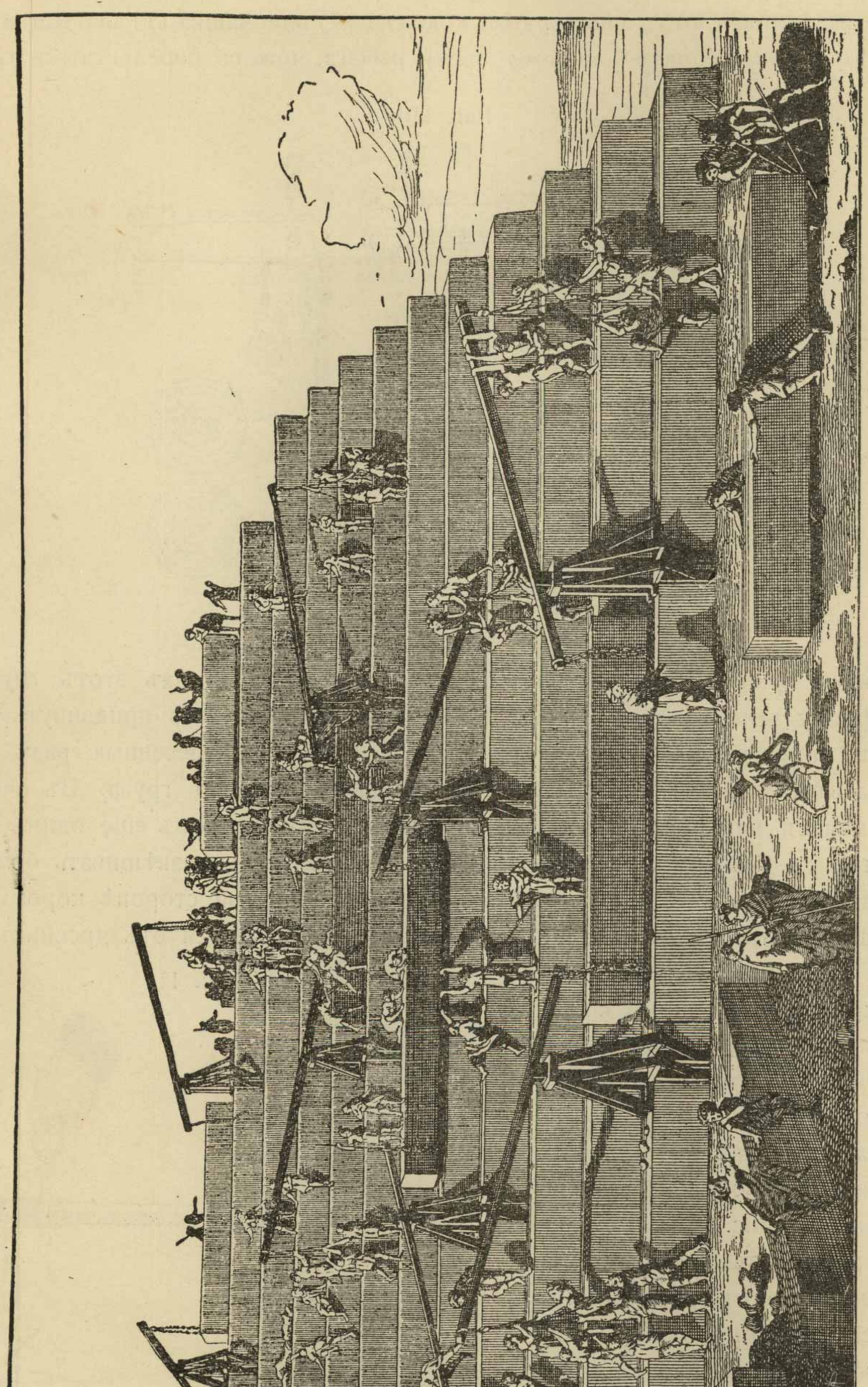


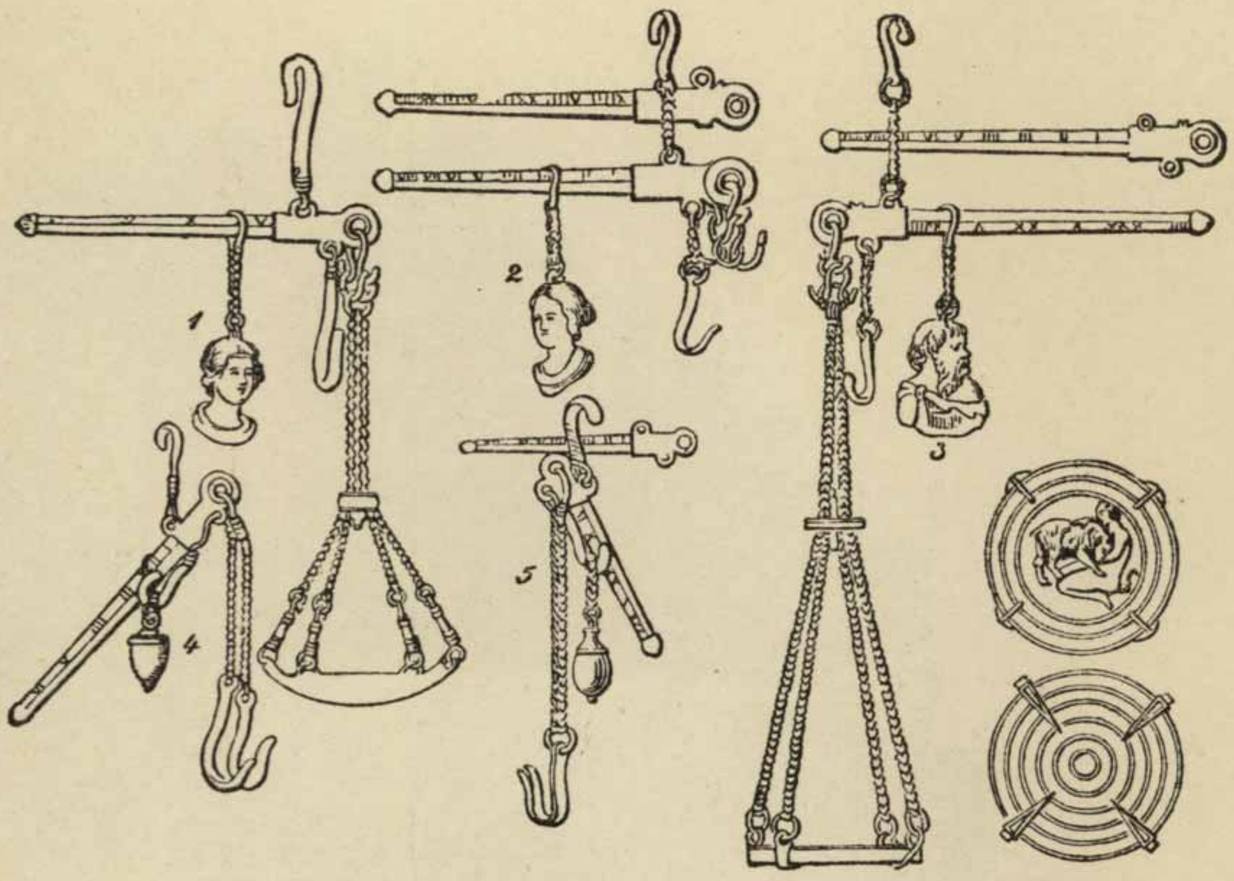
Рис. 109. Постройка пирамиды въ древности.

ряется въ доисторическомъ времени. Вѣсами особенно пользовались промышленные и торговые народы и ихъ можно найти въ различныхъ формахъ у большинства об-

http://mathesis.ru

разованныхъ народовъ, оставившихъ намъ предметы своей культуры. При раскопкахъ въ Помпеяхъ были найдены красивые безмены (рис. 110). Безменъ есть двуплечій рычагъ, подвѣшенный на крючкѣ на извѣстномъ разстояніи отъ концовъ. На одномъ концѣ виситъ, кромѣ того, еще другой крючекъ (4) или чашка (1) для взвѣшиваемаго товара. По другому, болѣе длинному плечу рычага, можетъ передвигаться грузъ, ко-

Рис. 110

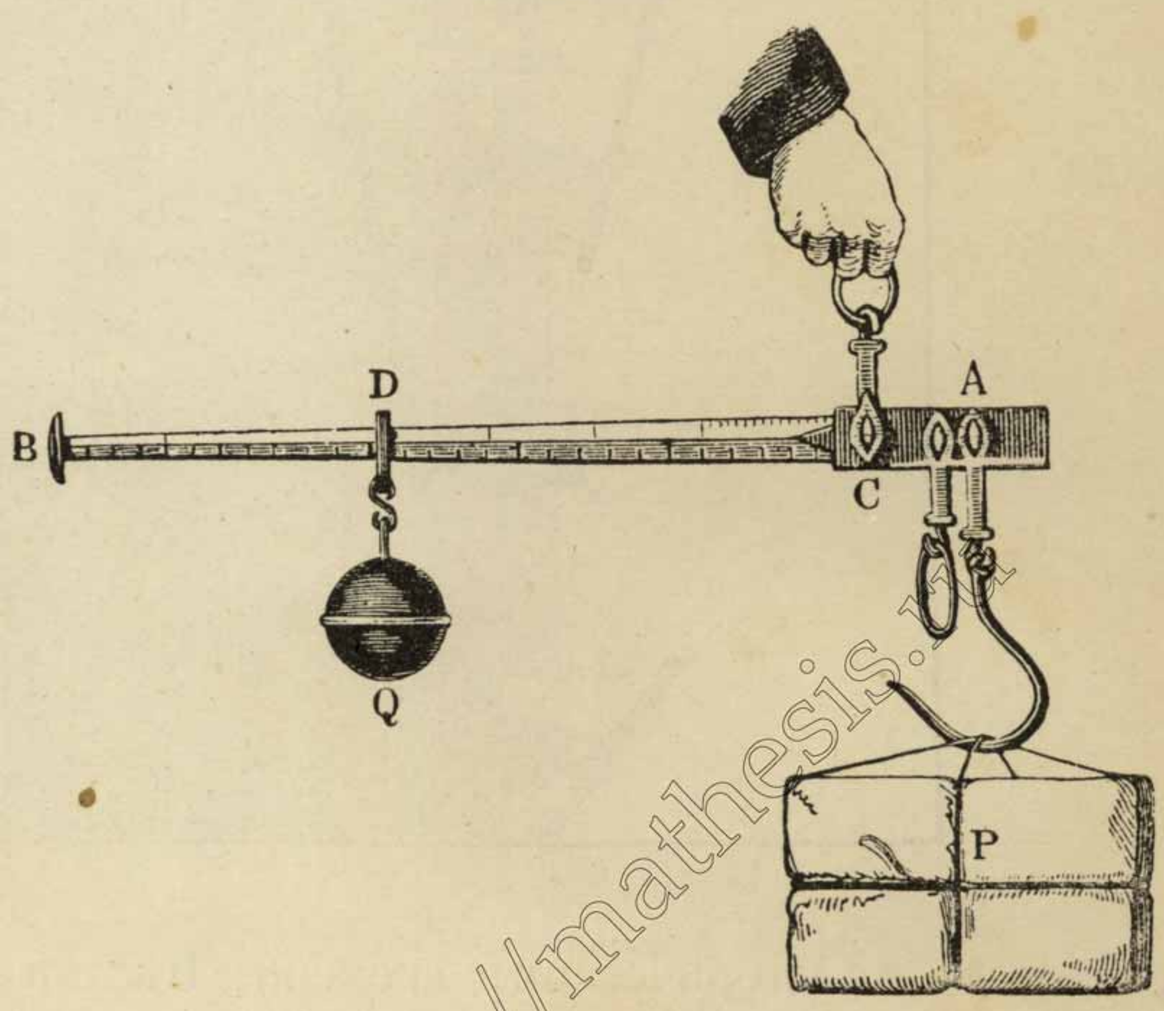


Помпейскіе безмены.

торымъ вѣсы приводятся въ равновѣсіе; въ помпейскихъ вѣсахъ этотъ грузъ часто имѣетъ форму человѣческой головы. Чѣмъ дальше приходится придвинуть грузъ къ концу для полученія равновѣсія, тѣмъ тяжелѣе товаръ и нанесенныя разъ навсегда числа указываютъ вѣсъ товара, соотвѣтствующій положенію груза. Въ очень многихъ безменахъ на другой сторонѣ ближе къ концу придѣланъ еще одинъ крючокъ. Если повѣситъ безменъ на этомъ крючкѣ, то имъ можно взвѣшивать болѣе тяжелые предметы. Соотвѣтственныя числа находятся на другой сторонѣ коромысла. Рис. 111 показываетъ, какъ мало современный безменъ отличается отъ древнихъ.

Въ скандинавскомъ безменѣ грузъ укрѣпленъ на одномъ концѣ коромысла, а взвѣшиваемый предметъ привѣшивается на другомъ концѣ. Грузъ и коромысло вмѣстѣ представляютъ деревянную воронку, въ широкій конецъ которой вливается свинецъ (рис. 112). По коромыслу передвигается петля до тѣхъ поръ, пока безменъ не приходитъ въ равновѣсіе. На коромыслѣ, какъ и у обыкновеннаго безмена, нанесены мѣтки и числа, дающія вѣсъ, который соотвѣтствуетъ данному положенію петли. Эти дѣленія, однако, находятся не на одинако-

Рис. 111



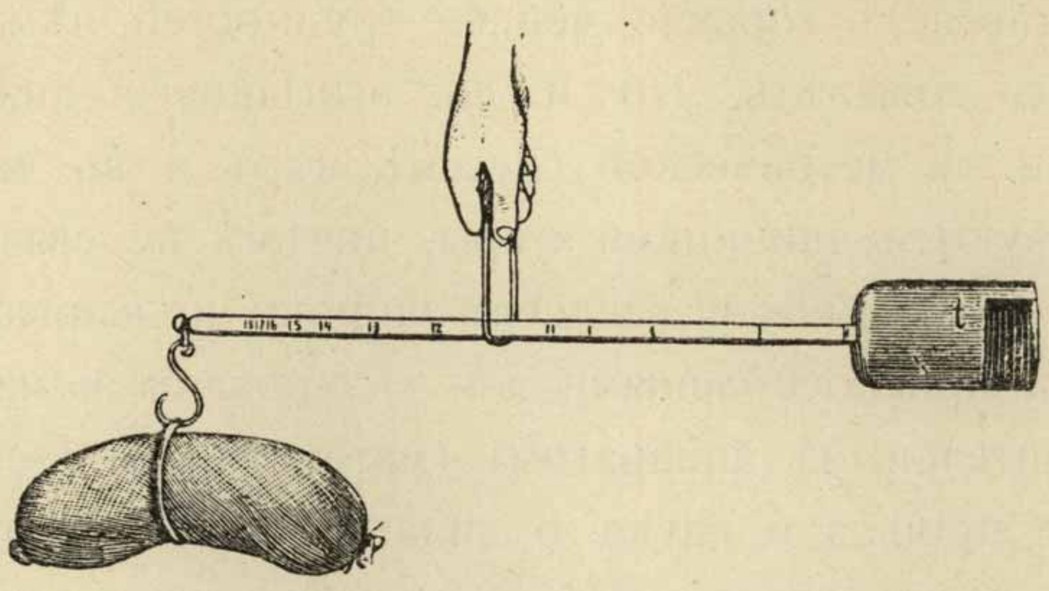
Современный безменъ.

http://mathesis.ru

ковыхъ разстояніяхъ другъ отъ друга, какъ и должно быть, если мѣтки даютъ послѣдовательные фунты.

114. Самую трудную часть задачи установленія правильной системы мѣръ представляетъ выборъ единицы мѣры и указаніе способовъ, которыми ее всегда можно провѣрить и опредѣлить вновь. Обыкновенно въ качествѣ единицъ мѣры прежде пользовались размѣрами легко доступнаго естественнаго предмета. Для мѣръ длины чаще всего пользовались частями человѣческаго тѣла, каковы, напримѣръ, дюймъ (digitus, большой палецъ), пядь, футъ (нога), локоть, сажень. Часто за мѣру брали также

Рис. 112



Скандинавскій безменъ.

плоды и сѣмена, напримѣръ, ячменныя зерна, макъ, финиковыя косточки. Примѣръ системы мѣръ можно найти въ указѣ короля Оттокара II Богемскаго (1253 — 1278): „4 ржаныхъ зерна, положенныхъ рядомъ, даютъ одинъ поперечникъ пальца, десять поперечниковъ пальца даютъ пядь; мѣра пшеницы составляетъ столько, сколько можно удержать обѣими руками“. Другой примѣръ попытки создать правильную нормальную мѣру (футъ) находится въ одномъ сочиненіи, появившемся во Франкфуртѣ въ 1584 г.: „Нужно, чтобы 16 человѣкъ высокихъ и низкихъ, какъ они выходятъ, напримѣръ, изъ церкви, поставили каждый свои башмаки одинъ передъ другимъ; эта длина должна быть законной общей мѣрой, которою надлежитъ мѣрять поля“. Иногда предлагали брать за мѣру разстояніе между зрачками взрослаго человѣка.

Ниже мы будемъ говорить подробно о болѣе новыхъ и въ то же время болѣе опредѣленныхъ, но зато и менѣе легко доступныхъ способахъ опредѣленія единицы длины. За эти единицы принимали пространство, проходимое падающимъ тѣломъ въ первую секунду, длину секуннаго маятника (Гюйгенсъ) и окружность земли (ср. § 28). Наконецъ, за единицу длины былъ принятъ метръ: длина платиноваго жезла, хранящагося въ Парижѣ.

Такъ какъ уже опредѣленіе одной только единицы мѣры (единицы длины) представило столько трудностей, то, очевидно, было бы очень удобно сочетать различные роды единицъ въ одну совершенно опредѣленную, связную систему. Великая заслуга перваго шага здѣсь принадлежитъ халдеямъ; именно, они связали воедино главные роды измѣреній: измѣренія пространства, силы, цѣнности и времени.

Разъ установлена единица длины, изъ нея легко выводится единица поверхности и единица объема. Первая есть квадратъ, построенный на единицѣ длины, а послѣдняя кубъ, ребро котораго есть единица длины. Вѣсъ такой единицы объема воды, „вавилонскій талантъ“, былъ единицей вѣса и, слѣдовательно, единицей силы. Такой же вѣсъ серебра былъ единицей цѣнности. Наконецъ, халдеи такъ регулировали

http://mathesis.ru

свои водяные часы, бронзовые сосуды съ однимъ отверстіемъ, что изъ нихъ вытекалъ талантъ воды въ $^1/_{24}$ сутокъ. Эта часть сутокъ и стала единицей времени. Установленіе такой связи между различными единицами мѣры знаменуетъ собою значительный прогрессъ въ естествознаніи и потому не удивительно, что халдейская система мѣръ пробила себѣ дорогу у египтянъ, грековъ, римлянъ и другихъ народовъ.

Лишь въ новѣйшее время снова была введена такая система, въ которой кубъ съ ребромъ въ $^1/_{10}$ *м* представляетъ единицу объема (литръ), а вѣсъ такого куба воды представляетъ единицу вѣса (килограммъ). При современномъ совершенствѣ приборовъ и при современныхъ условіяхъ сношеній общее введеніе одной и той же основной мѣры представляетъ гораздо меньше трудностей, чѣмъ во времена халдеевъ. Тѣмъ болѣе приходится сожалѣть, что и до нынѣшняго дня еще не всѣ культурные народы примкнули къ метрической системѣ мѣръ и во многихъ странахъ (Данія, Англія) еще пользуются единицами мѣры, ничѣмъ не связанными между собою.

115. Астрономія у египтянъ и халдеевъ широко пользовалась вспомогательными средствами, огромными приспособленіями для визированія и измѣренія; позднѣе греки обогатили ее мыслительнымъ аппаратомъ (математикой) и геніально переработали ее. Подобное развитіе прошла и наука о силахъ. Нѣтъ ничего величественнѣе египетскихъ памятниковъ зодчества и нельзя превзойти халдейскую систему мѣръ. Но, повидимому, этимъ народамъ остались неизвѣстными истинные законы природы, управляющіе дѣйствіемъ силъ. Ученія греческихъ философовъ отъ VI до IV вѣка до Р. Х. привели къ переоцѣнкѣ роли мышленія, которое, согласно Платону, должно было вести къ познанію вѣчно неизмѣннаго, къ познанію идей. Вплоть до III вѣка до Р. Х. греческіе ученые относились съ презрѣніемъ къ занятіямъ механикой и къ попыткамъ добиться успѣха механическими средствами тамъ, гдѣ чистое мышленіе не приводило къ цѣли.

Рис. 113.



Архимедъ.

Аристотель, который во многихъ отношеніяхъ былъ противникомъ Платона, написалъ, впрочемъ, книгу о силахъ; но она содержитъ такъ много невѣрнаго, что позднѣе часто являлась препятствіемъ для отысканія истины (ср. § 59).

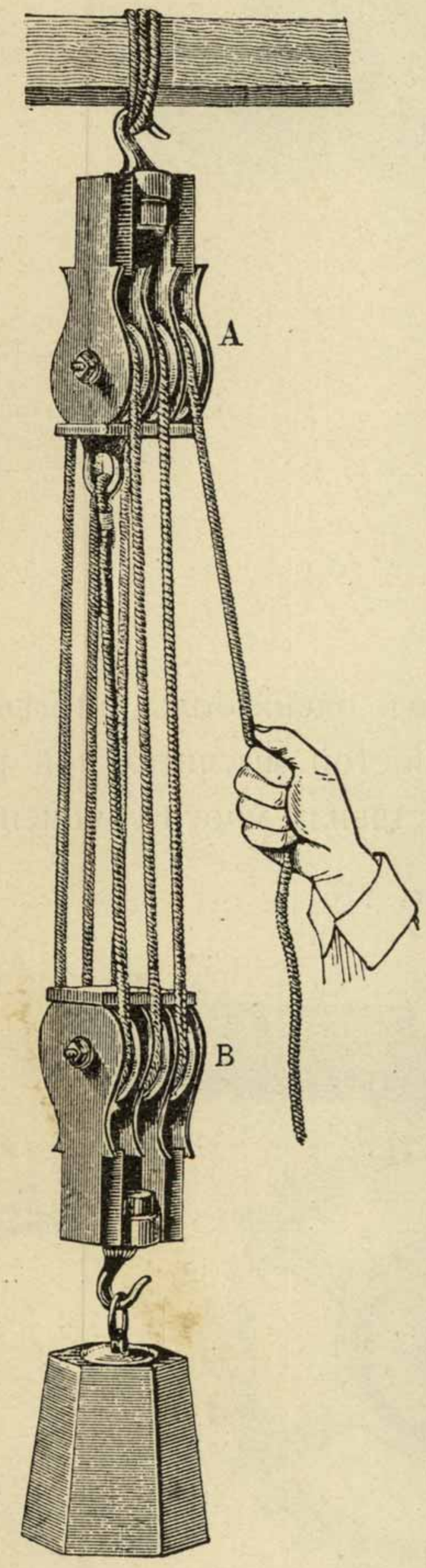
Но въ III вѣкѣ до Р. Х. механика, ученіе о законахъ силъ, такъ сказать, развернулась сразу. Именно, появился одинъ изъ величайшихъ мыслителей, какіе когда-либо жили, Архимедъ Сиракузскій. Эта наука развилась сразу съ такой силой и ясностью и охватила такую массу научныхъ истинъ, что исторія наукъ едвали можетъ привести другой подобный примѣръ.

116. Архимедъ (287—212 до Р. Х.) былъ родственникъ царя Гіерона, правившаго въ то время (269—215) въ Сиракузахъ. Но Архимедъ, повидимому, не пользовался этимъ родствомъ для того, чтобы создать себѣ вліятельное положеніе, — онъ нашелъ удовлетвореніе въ занятіяхъ математикой и механикой. Онъ изобрѣлъ около 40 машинъ, въ томъ числѣ полиспастъ, Архимедовъ винтъ и „безконечный“ винтъ. Какъ извѣстно, при помощи полиспаста (рис. 114) можно поднять на веревкѣ зна-

http://mathesis.ru

чительную тяжесть сравнительно небольшимъ усиліемъ. Архимедовъ и безконечный винты основаны на томъ, что, при вращеніи винта около его оси, отдѣльное мѣсто нарѣзки какъ бы скользитъ отъ одного конца къ другому. Архимедовъ винтъ (рис. 115) состоитъ изъ наклонно поставленнаго барабана съ винтовой спиралью внутри. При каждомъ оборотѣ самая нижняя часть винта погружается въ воду и захватываетъ извѣстное количество воды, которое дальнѣйшими поворотами винта подымается на высоту и, наконецъ, выливается у верхняго конца винта. Архимедовъ винтъ представляетъ превосходную машину для подъема воды, которая находитъ большое примѣненіе еще и теперь. Подобное же перемѣщеніе сообщаетъ вращеніе безконечнаго винта (рис. 116) зубчатому колесу, которое, такимъ образомъ, поворачивается на одинъ зубецъ при каждомъ оборотѣ винта.

Рис. 114



Полиспастъ или тали.

117. Когда, послѣ смерти царя Гіерона, Сиракузы впутались въ войну съ могучимъ Римомъ, онѣ оказали римскимъ войскамъ подъ начальствомъ Аппія Клавдія и флоту подъ начальствомъ Марцелла необычайное сопротивленіе, которымъ городъ, по единогласному свидѣтельству современныхъ и позднѣйшихъ греческихъ и римскихъ писателей, былъ обязанъ Архимеду. Полибій восклицаетъ: „такъ велика была сила одного человѣка, такъ велико дѣйствіе его генія. При тѣхъ значительныхъ силахъ, которыя осаждали городъ съ суши и съ моря, онъ долженъ былъ попасть въ руки римлянъ при первомъ же нападеніи, не будь въ Сиракузахъ этого старца. Архимедъ находится въ стѣнахъ города — и римляне не осмѣливаются идти на нихъ". — Когда римскій полководецъ попытался взять городъ штурмомъ, его легіоны были прогнаны дождемъ мелкихъ камней, которымъ осыпали ихъ метательныя машины Архимеда. Когда Марцеллъ приблизился къ стѣнамъ съ самбукой, громадной штурмовой лѣстницей на двухъ корабляхъ, самбука была разбита огромными камнями, выброшенными другими машинами. Равнымъ образомъ у Архимеда оказывались подходящія орудія и на тѣ случаи, когда солдаты Марцелла во мракѣ ночи на корабляхъ подкрадывались къ стѣнамъ, покрытые защитной крышей. Но если нѣкоторые изъ нихъ всетаки удерживались и приближались къ стѣнамъ, то, какъ разсказываетъ Полибій, надъ стѣной внезапно появлялся конецъ рычага, съ котораго на корабль падала прикрѣпленная на цѣпи желѣзная рука, схватывавшая ванты и палубу. Затѣмъ корабль подъемомъ рычага поднимался изъ-за стѣны въ вышину, удерживался одно мгновеніе въ воздухѣ и затѣмъ пускался, такъ что съ размаху падалъ въ море, гдѣ наполнялся водой или разбивался объ утесы.

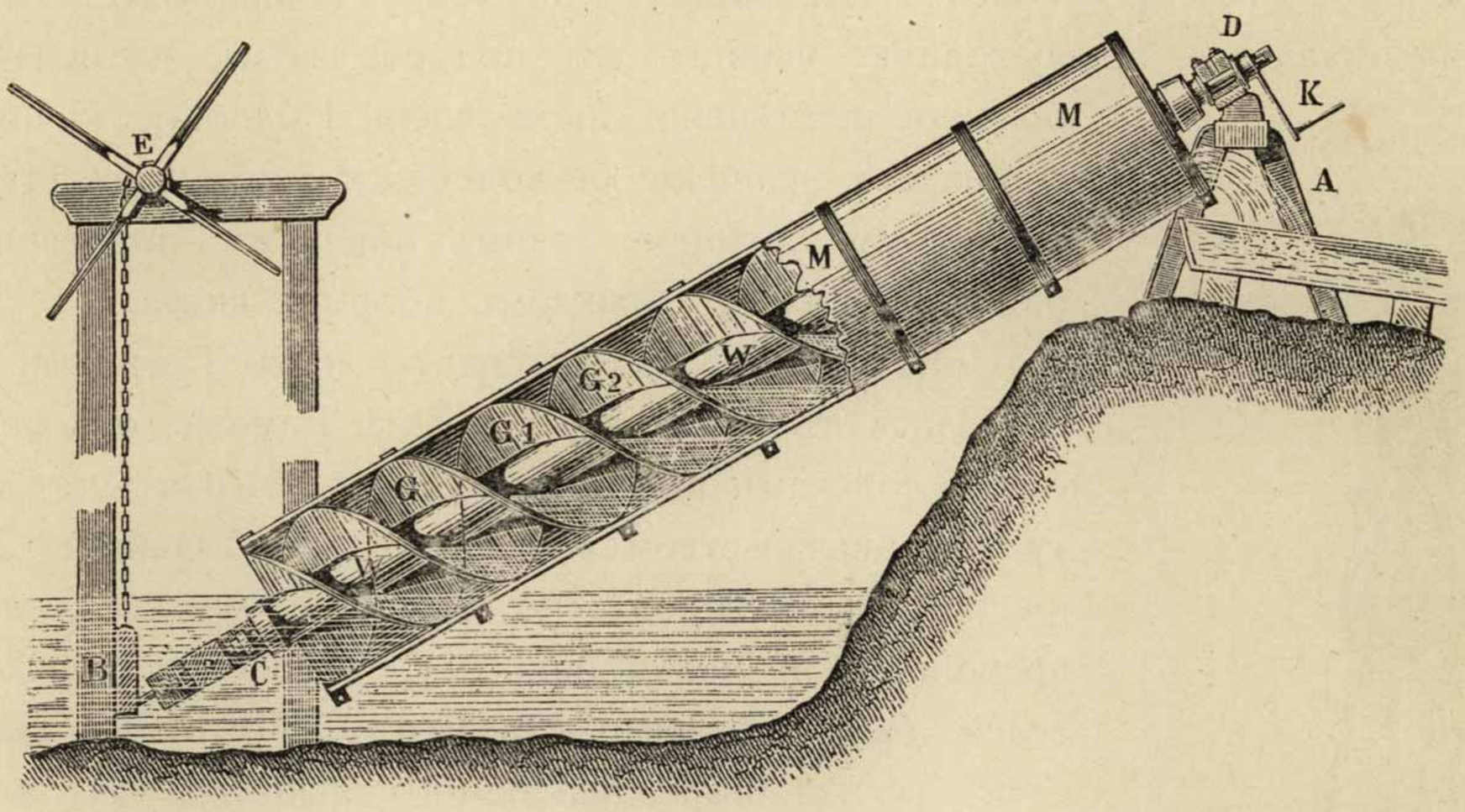
Когда римляне увидѣли наконецъ, что должны ограничиться только осадой города, заставляя его голодать, то по извѣстію, которое передаетъ одинъ позднѣйшій писатель (Антемій), Архимедъ при помощи вогнутыхъ зеркалъ зажегъ непріятельскій флотъ.

http://mathesis.ru

Это, однако, въ высшей степени невѣроятно. По крайней мѣрѣ попытки сдѣлать это въ новѣйшее время были напрасны. И, конечно, болѣе древніе писатели не прошли бы молчаніемъ такого факта.

118. Указанныя механическія работы прославили Архимеда на весь міръ, такъ что выраженіемъ „настоящій Архимедъ“ и теперь еще обозначаютъ всякаго генія въ

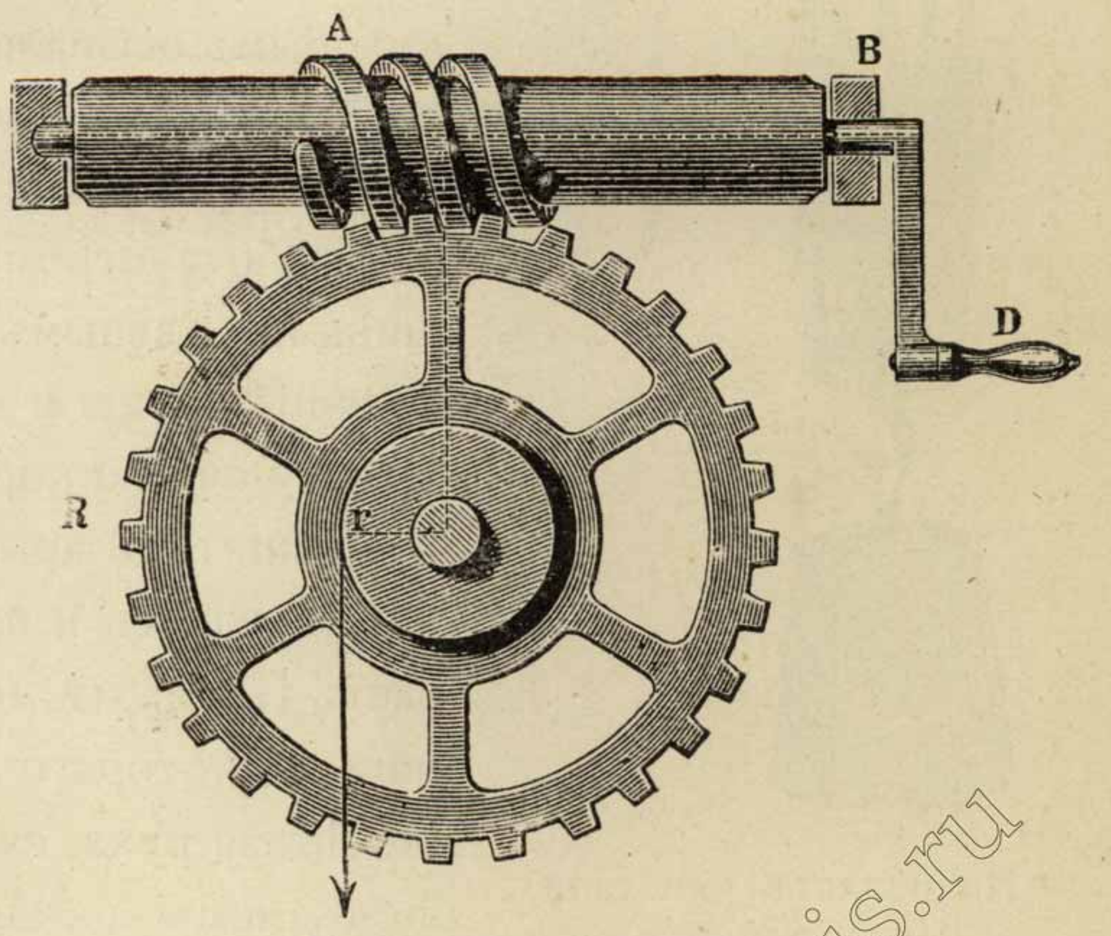
Рис. 115



Архимедовъ винтъ.

механикѣ. И, однако, Архимедъ не придавалъ этимъ работамъ очень большой цѣны. Онъ былъ согласенъ съ Платономъ, что въ сравненіи съ чистой мыслительной работой подобныя вещи совершенные пустяки. — Архимедъ оставилъ много сочиненій, въ которыхъ онъ разрабатываетъ труднѣйшіе математическіе и механическіе вопросы съ такимъ спокойствіемъ и ясностью, какъ будто это самыя простыя вещи. Особенно трудны были задачи, въ которыхъ дѣло шло о безконечно большомъ числѣ безконечно малыхъ величинъ, напримѣръ, вычисленіе длины окружности, которую можно разсматривать какъ сумму безчисленнаго количества безконечно малыхъ отрѣзковъ. Математики V и IV вѣковъ не умѣли вычислять площади круга. Но Архимедъ съ характернымъ для него спокойствіемъ и убѣдительностью показалъ, что площадь круга равна прямоугольному треугольнику, одинъ катетъ котораго a равенъ радіусу r (рис. 117), а другой катетъ b равенъ окружности p круга. Что же касается длины окружности, то Архимедъ показалъ, что она меньше, чѣмъ $3^1/_7$ діаметра и больше, чѣмъ $3^{10}/_{71}$ діаметра. Разница этихъ двухъ чиселъ составляетъ только $^1/_{497}$.

Рис. 116

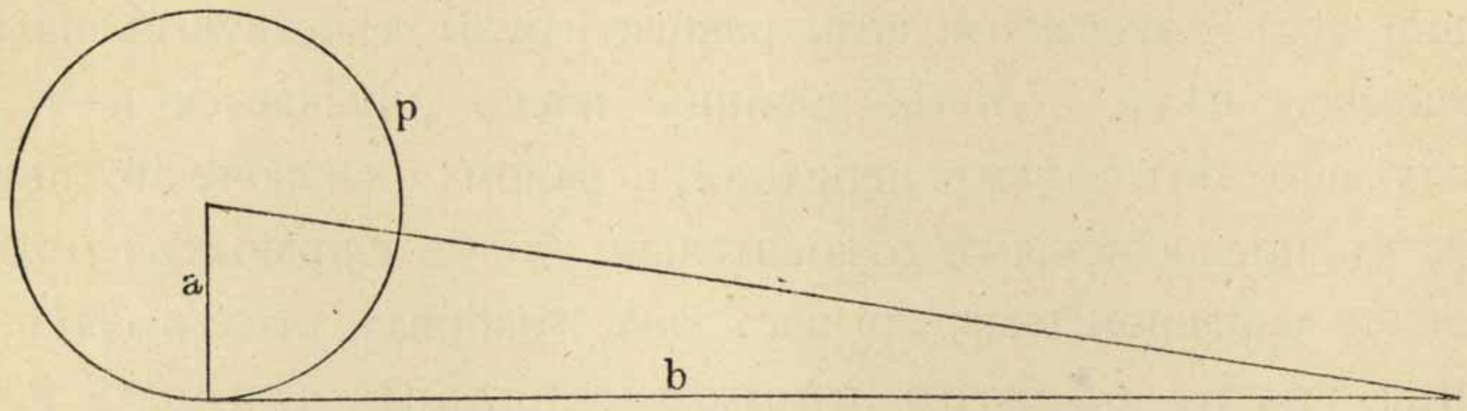


Безконечный винтъ.

http://mathesis.ru

Въ другомъ сочиненіи Архимедъ доказалъ, что объемы конуса, шара и цилиндра одинаковаго діаметра и одинаковой высоты, относятся между собою, какъ 1:2:3 (рис. 118). Вычисленіе кривыхъ поверхностей возможно только при помощи безконечныхъ (безконечнаго количества безконечно-малыхъ); и нельзя удивляться, что человѣкъ, впервые сумѣвшій рѣшать такія задачи, и притомъ не только приближенно, а совершенно строго, находилъ въ этомъ такое большое наслажденіе, что выразилъ желаніе, чтобы на его могилѣ въ видѣ памятника были поставлены шаръ и цилиндръ.

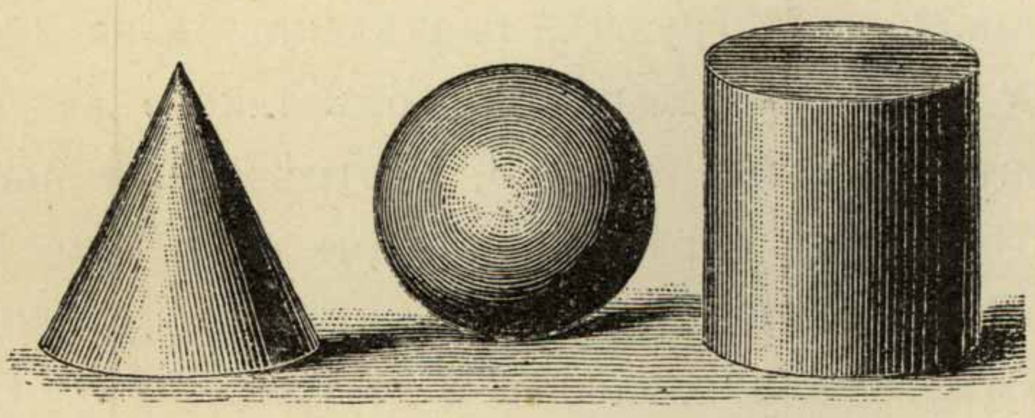
Рис. 117



Площадь круга.

119. Въ другой книгѣ Архимедъ даетъ число, которое больше числа песчинокъ, могущихъ наполнить весь міръ. Греческія числительныя не шли далѣе миріадъ (10 000). Архимедъ показываетъ, что можно отсчитать миріаду миріадъ и этотъ результатъ (100 000 000) принять за единицу второго порядка. Отсчитавъ затѣмъ опять миріаду миріадъ этихъ единицъ, мы получимъ единицу третьяго порядка. Продолжая такой счетъ дальше, мы получимъ единицу четвертаго порядка и т. д. Архимедъ думалъ, что радіусъ звѣзднаго неба можно считать равнымъ 10 000 000 000 стадій и что 10 000 песчинокъ занимаютъ такой же объемъ, какъ зерно мака; а 40 маковыхъ зеренъ, положенныя рядомъ, составляютъ больше, чѣмъ ширину пальца. При этихъ допущеніяхъ онъ получаетъ, что число песчинокъ, которыя могли бы заполнить всю вселенную, составляетъ тысячу миріадъ восьмого порядка. По нашему счисленію это число нужно писать въ видѣ 1 съ 63 нулями. — Можетъ казаться, что цѣлая книга по такому вопросу представляетъ безполезную забаву. Но на самомъ дѣлѣ это есть изліяніе гигантскаго ума, который желаетъ испытать свои силы, переступая границы непосредственныхъ чувственныхъ впечатлѣній.

Рис. 118



Предложеніе Архимеда.

120. Переходя теперь къ ознакомленію съ нѣкоторыми положеніями, на которыхъ Архимедъ основалъ механику, мы, къ сожалѣнію, не можемъ точно придерживаться того способа изложенія, который находимъ въ его твореніяхъ. Это заняло бы слишкомъ много мѣста и потребовало бы бо̀льшихъ знаній по математикѣ, чѣмъ мы предполагаемъ. Но самое изложеніе поражаетъ своей величественной простотой.

Плутархъ (около 100 г. по Р. Х.) пишетъ объ этомъ: „Нигдѣ во всей математикѣ нельзя найти болѣе простого и яснаго способа рѣшенія болѣе трудныхъ и

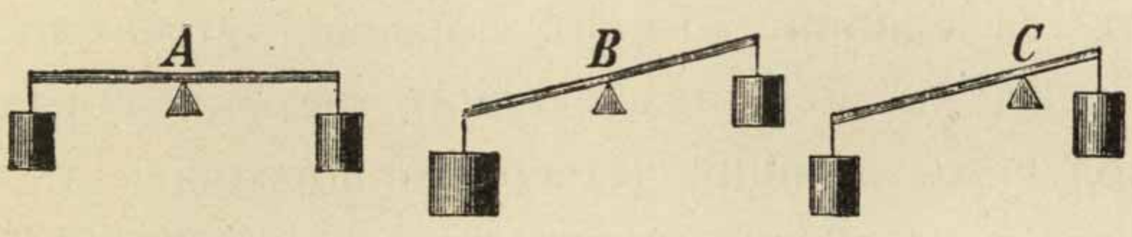
http://mathesis.ru

сложныхъ задачъ, чѣмъ у Архимеда... Если ты напрасно трудился надъ тѣмъ, чтобы найти доказательство какого-нибудь положенія и затѣмъ ищешь совѣта у Архимеда, то сейчасъ же получаешь впечатлѣніе, какъ будто ты самъ уже былъ близокъ къ открытію доказательства: такимъ легкимъ и короткимъ путемъ приходишь къ тому, что хотѣлъ доказать".

121. Архимедъ какъ въ математикѣ, такъ и въ механикѣ исходитъ изъ простыхъ вещей, въ которыхъ никто не сомнѣвается, напримѣръ, изъ того, что если равные грузы дѣйствуютъ на равныя плечи рычага, то они удерживаютъ другъ друга въ равновѣсіи (рис. 119 *A*); если на равныя плечи дѣйствуютъ неравные грузы, то равновѣсія нѣтъ, *B*: большій вѣсъ опускается; если равные грузы дѣйствуютъ на неравныя плечи, *C*, то равновѣсія нѣтъ, а болѣе длинное плечо опускается и т. д. Отъ этихъ простѣйшихъ случаевъ онъ затѣмъ переходитъ рядомъ заключеній, при помощи чистаго мышленія, къ предложеніямъ относительно болѣе сложныхъ соотношеній.

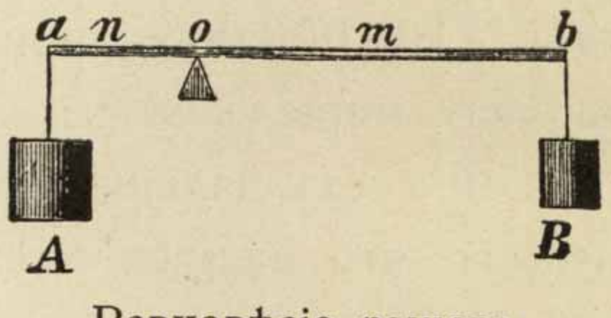
Относительно неравноплечаго рычага онъ говоритъ, что рычагъ находится въ равновѣсіи, когда грузы обратно пропорціональны длинамъ плечъ рычага. Такимъ образомъ, рычагъ (рис. 120) будетъ, напримѣръ, въ равновѣсіи, если *A* относится къ *B*, какъ *m* къ *n*. Архимедъ доказываетъ это утвержденіе приблизительно слѣдующимъ образомъ.

Рис. 119



Основныя положенія Архимеда.

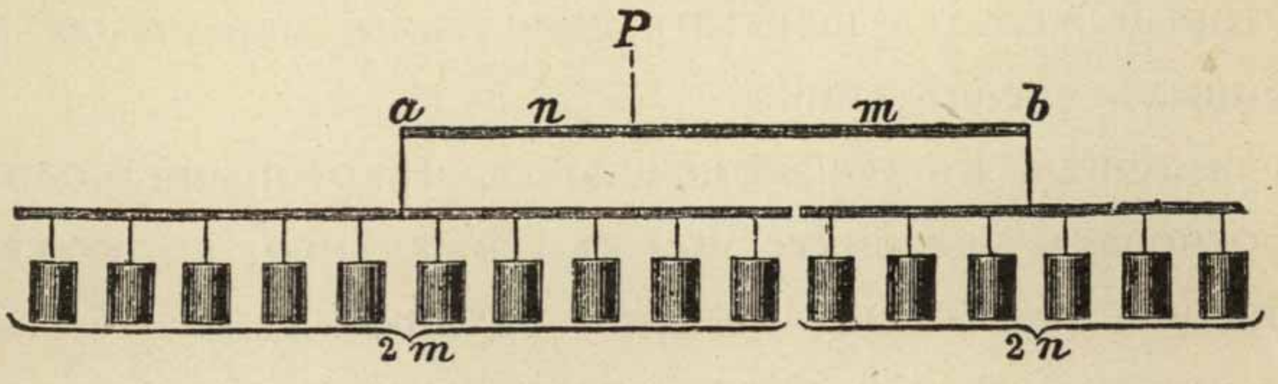
Рис. 120



Равновѣсіе рычага.

Пусть отношеніе *n* къ *m* будетъ 3:5, а отношеніе *A* къ *B*, слѣдовательно, 5:3. Въ такомъ случаѣ можно мысленно представить себѣ грузъ *A* раздѣленнымъ на 2×5 или 10 малыхъ грузовъ, а грузъ *B* на 2×3 или 6 малыхъ грузовъ такой же величины. Если такимъ же образомъ раздѣлить отрѣзокъ *n* на 3, а отрѣзокъ *m* на 5 равныхъ частей, то можно представить себѣ затѣмъ отрѣзокъ длиною 2 *m* или 10, на которомъ подвѣшены маленькіе грузы, составляющіе *A*, по одному въ срединѣ каждой части. Этотъ отрѣзокъ съ малыми грузами обозначенъ 2 *m* (рис. 121). Соотвѣтственно приведеннымъ выше основнымъ положеніямъ онъ находится въ равно-

Рис. 121



Выводъ условій равновѣсія рычага.

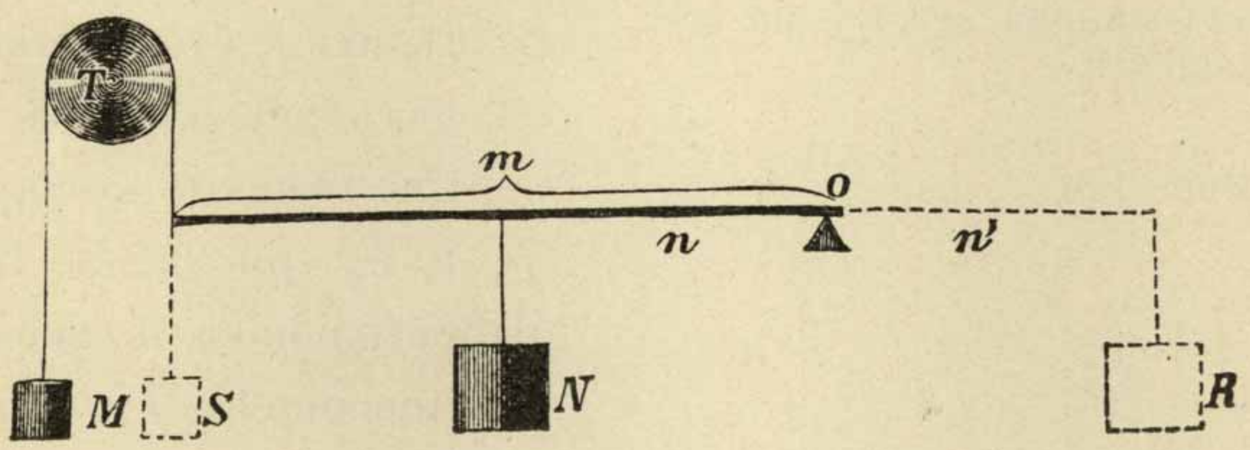
вѣсіи, если подвѣшенъ какъ разъ по срединѣ. Такимъ образомъ, безразлично, подвѣсить ли въ точкѣ *a* грузъ *A* (рис. 120) или же подвѣсить въ точкѣ *a* (рис. 121) средину отрѣзка длиною 10 (2 *m*) съ десятью малыми грузами. Равнымъ образомъ

http://mathesis.ru

будетъ безразлично, подвѣсимъ ли мы въ точкѣ b грузъ B (рис. 120) или же подвѣсимъ въ точкѣ b (рис. 121) отрѣзокъ длиною въ 6 ($2\ n$) съ шестью малыми грузами. Если же мы подвѣсимъ ихъ, какъ показано на рис. 121, то всѣ 16 малыхъ грузовъ будутъ висѣть въ серединахъ 16 рядомъ лежащихъ равныхъ частей одного отрѣзка. Этотъ отрѣзокъ, естественно, находится въ равновѣсіи, если подвѣшенъ въ серединѣ, а его средина есть P. Но въ такомъ случаѣ равновѣсіе должно быть, если въ a и b подвѣсить грузы A и B, замѣненные отрѣзкомъ $2\ m$ съ 10 малыми грузами и отрѣзкомъ $2\ n$ съ 6 малыми грузами.

122. Теперь легко видѣть, что одноплечій рычагъ долженъ быть въ равновѣсіи, когда на него дѣйствуютъ, въ противоположныхъ направленіяхъ двѣ силы M и N, относящіяся между собою обратно пропорціонально разстояніямъ m и n отъ точки вращенія. Изъ рисунка видно, какъ при помощи блока можно заставить грузъ тянуть вверхъ. Если мы вообразимъ себѣ грузъ S (рис. 122) такой же величины, какъ M, подвѣшеннымъ въ той же точкѣ, въ которой M тянетъ вверхъ, то грузы S и M будутъ въ равновѣсіи. Если затѣмъ представить себѣ одноплечій рычагъ удлиненнымъ въ двуплечій, на другомъ плечѣ котораго n', равномъ n, виситъ грузъ R такой же

Рис. 122



Одноплечій рычагъ.

величины, какъ N, то R и N также будутъ въ равновѣсіи. Но такъ какъ S равно M и R равно N, то S и R должны относиться другъ къ другу какъ n къ m или какъ n' къ m. Слѣдовательно, грузы S и R, дѣйствующіе на плечи m и n', также удерживаютъ другъ друга въ равновѣсіи. Значитъ, всѣ эти четыре силы M, S, R и N удерживаютъ другъ друга въ равновѣсіи, а такъ какъ двѣ силы S и R взаимно уравновѣшиваются, то, слѣдовательно, въ равновѣсіи должны быть также и силы M и N.

123. Во всякомъ тѣлѣ есть точка, относительно которой вѣса всѣхъ частей тѣла находятся въ равновѣсіи. Это такъ называемый центръ тяжести тѣла; если его подпереть, то тѣло находится въ равновѣсіи. Если тѣло подперто только въ своемъ центрѣ тяжести, то весь вѣсъ тѣла дѣйствуетъ на точку опоры (или точку подвѣса).

Архимедъ написалъ книгу о томъ, какъ можно математически опредѣлять центръ тяжести поверхностей различной формы. Мы должны удовольствоваться здѣсь нѣсколько инымъ способомъ изложенія, болѣе короткимъ. Если представить себѣ треугольникъ ABC (рис. 123) разрѣзаннымъ на (безчисленныя) узкія полосы параллельно одной изъ сторонъ, напримѣръ, сторонѣ AC, то каждая такая полоса будетъ въ равновѣсіи, если подпереть ее по серединѣ. Но такъ какъ средины всѣхъ такихъ полосъ лежатъ на линіи BD, которая соединяетъ вершину угла B со срединой стороны AC, то весь треугольникъ долженъ быть въ равновѣсіи, если подпереть его

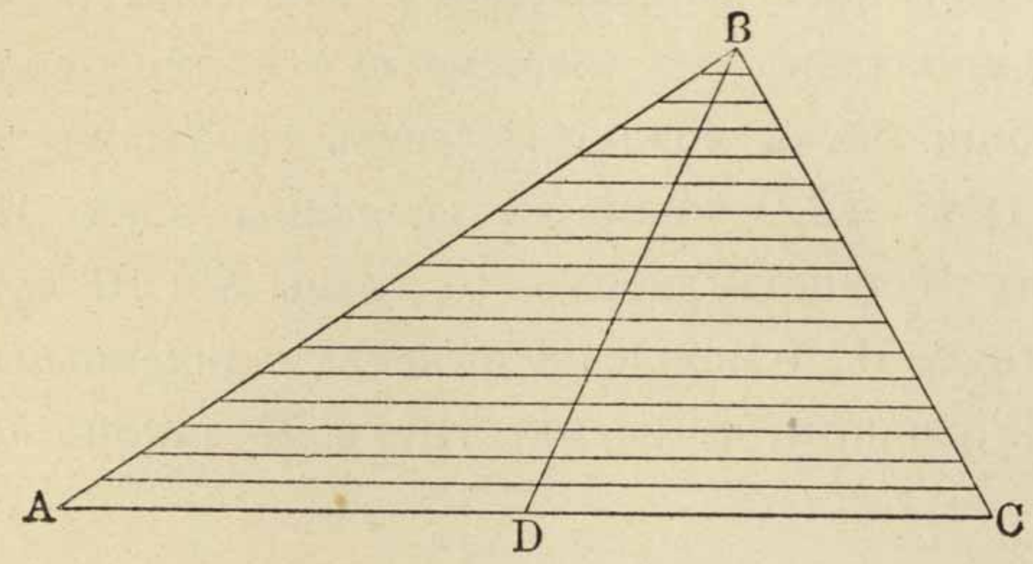
http://mathesis.ru

вдоль линіи BD, такъ называемой медіаны. На этой линіи, слѣдовательно, долженъ лежать центръ тяжести.

Подобное же разсужденіе показываетъ, что центръ тяжести треугольника долженъ также лежать на медіанѣ AE (рис. 124). Слѣдовательно, онъ лежитъ въ точкѣ O пересѣченія медіанъ.

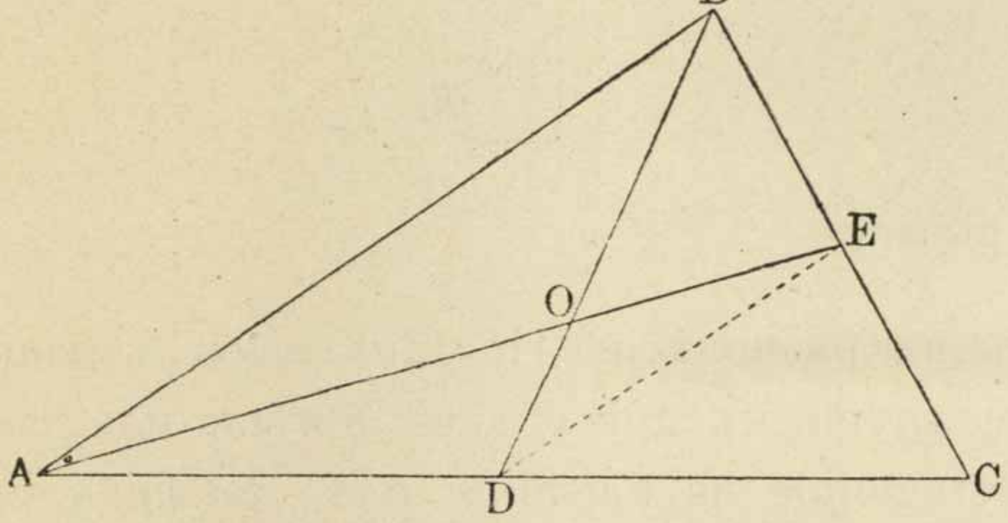
Легко видѣть, что линія ED равна половинѣ линіи AB. Но треугольникъ DOE есть, такъ сказать, треугольникъ BOA въ половинномъ масштабѣ (эти два треугольника подобны). Значитъ, не только DE равно половинѣ AB, но также и OD равно половинѣ OB. Слѣдовательно, если раздѣлить медіану BD на три равныя части, то та точка дѣленія, которая будетъ ближе къ сторонѣ треугольника, будетъ точкой пересѣченія медіанъ —центромъ тяжести треугольника.

Рис. 123



Центръ тяжести треугольника лежитъ на его медіанѣ.

Рис. 124



Центръ тяжести треугольника.

124. Теперь нетрудно найти при помощи построенія центръ тяжести любого четыреугольника. Для этого нужно раздѣлить четыреугольникъ діагональю на два треугольника ABC и ADC, центры тяжести которыхъ пусть будутъ T_1 и T_2 (рис. 125). Центръ тяжести четыреугольника долженъ лежать на линіи, соединяющей T_1 и T_2. Затѣмъ нужно раздѣлить данный четыреугольникъ другой діагональю на два треугольника DAB и DBC съ центрами тяжести T_3 и T_4. Центръ тяжести четыреугольника долженъ также лежать на линіи, соединяющей T_3 и T_4, слѣдовательно, онъ долженъ находиться въ точкѣ O.

Чтобы найти построеніемъ центръ тяжести пятиугольника, его дѣлятъ на треугольникъ и четыреугольникъ, опредѣляютъ центръ тяжести каждой изъ этихъ двухъ фигуръ и соединяютъ полученные центры тяжести. Затѣмъ повторяютъ все построеніе еще разъ другимъ способомъ, что даетъ вторую линію, соединяющую центры тяжести новыхъ треугольника и четыреугольника. Центръ тяжести пятиугольника долженъ лежать въ точкѣ пересѣченія этихъ двухъ линій.

Подобнымъ же образомъ можно опредѣлить центръ тяжести шестиугольника, семиугольника и т. д. Но этотъ пріемъ неприложимъ къ фигурамъ, ограниченнымъ кривыми линіями. Архимедъ, однако, съ присущимъ ему мастерствомъ находитъ центры тяжести различныхъ криволинейныхъ фигуръ, на чемъ мы, впрочемъ, не можемъ дольше останавливаться.

Примѣръ 1. На какой линіи долженъ лежать центръ тяжести всякой пирамиды?

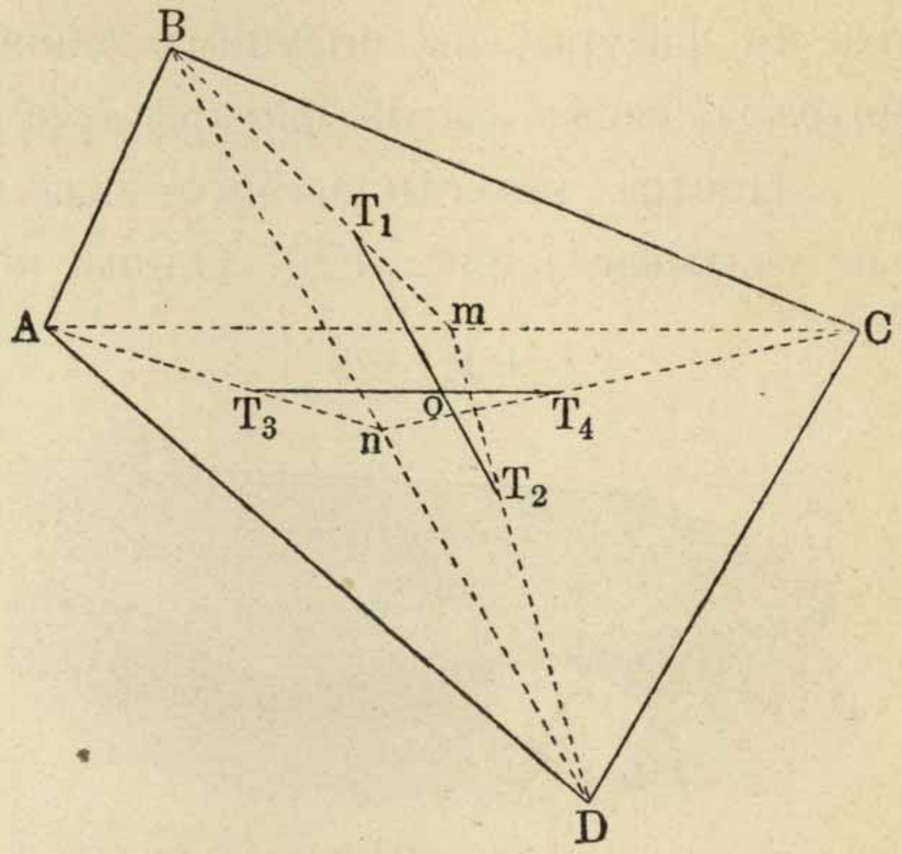
Примѣръ 2. Гдѣ, слѣдовательно, долженъ лежать центръ тяжести треугольной пирамиды?

http://mathesis.ru

Примѣръ 3. Какой выводъ получается отсюда относительно положенія центра тяжести въ любой пирамидѣ?

125. Когда римлянамъ удалось, наконецъ, благодаря коварству и измѣнѣ, ворваться ночью въ городъ, Архимедъ въ утренній часъ сидѣлъ въ другой части города и рисовалъ чертежи на пескѣ. Не подозрѣвая того, что произошло, онъ сидѣлъ углубленный въ свои математическія соображенія, когда римскій солдатъ бросился на него и нанесъ ему ударъ, не обращая вниманія на его крикъ: „не наступи на мои круги“. Глубоко огорченный этимъ Марцеллъ приказалъ устроить ему похороны и оказалъ почести его роднымъ. На могилѣ Архимеда былъ воздвигнутъ памятникъ, какого желалъ онъ самъ. Позднѣе Цицеронъ нашелъ памятникъ заросшимъ колючимъ кустарникомъ; то мѣсто, которое теперь называютъ могилою Архимеда, вѣроятно, не есть настоящее.

Рис. 125



Центръ тяжести четыреугольника.

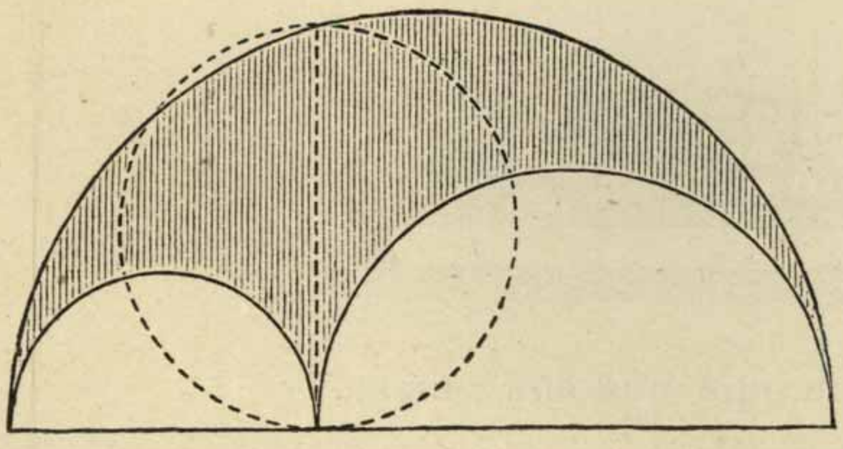
Ниже мы познакомимся еще съ другою частью физики, начало которой положилъ также Архимедъ (равновѣсіе плавающихъ тѣлъ[1]).

126. Мы прибавимъ теперь еще нѣсколько замѣчаній къ ученію о центрѣ тяжести, принадлежащихъ позднѣйшему времени.

[1]) Тотъ, кто умѣетъ вычислять площади круговъ, можетъ доказать слѣдующія положенія о кругѣ, передаваемыя арабскими писателями и приписываемыя Архимеду.

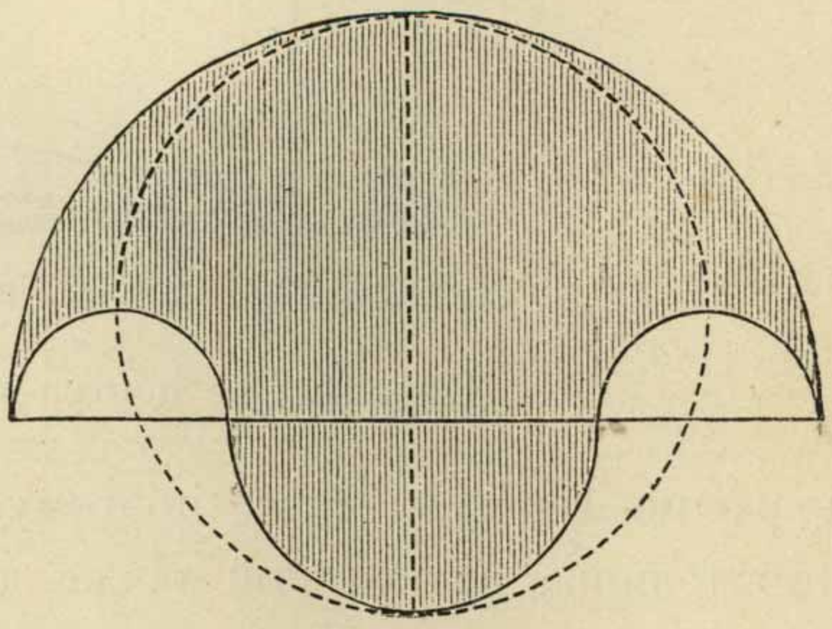
1. Данная фигура (рис. 126) ограничена тремя полукругами, такими, что сумма діаметровъ двухъ меньшихъ круговъ составляетъ діаметръ большого круга. Нужно доказать, что фигура, ограниченная этими полукругами (заштрихованная) равновелика кругу, діаметръ котораго равенъ отрѣзку перпендикуляра, возставленнаго къ общему діаметру въ точкѣ касанія двухъ малыхъ круговъ.

Рис. 126



Арбелонъ Архимеда.

Рис. 127



Салинонъ Архимеда.

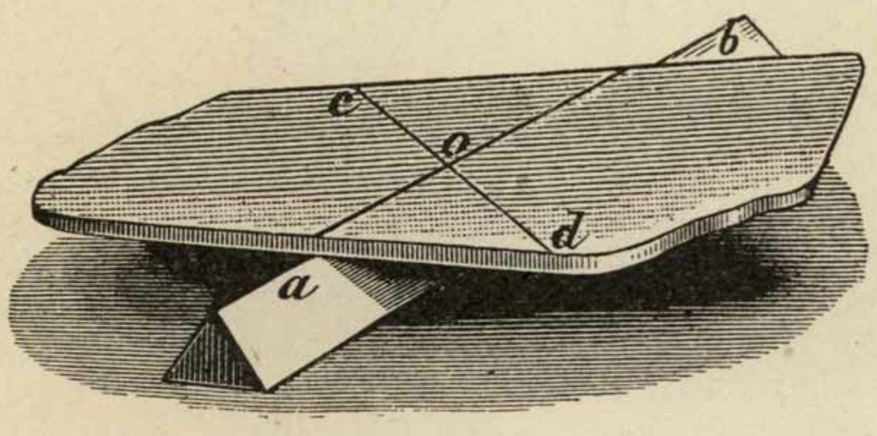
2. Два неравныхъ полукруга съ общимъ центромъ лежатъ по разныя стороны діаметра На выступающихъ частяхъ большого діаметра начерчены два полукруга, такъ что получается фигура 127, ограниченная четырьмя полукругами (заштрихованная). Надо доказать, что эта фигура равновелика кругу (пунктирному), діаметръ котораго равенъ суммѣ радіусовъ двухъ первыхъ полукруговъ.

http://mathesis.ru

Какъ и Платонъ, Архимедъ отнесся бы съ презрѣніемъ къ опредѣленію центра тяжести при помощи опыта. Однако, очень часто на практикѣ это бываетъ удобно, хотя нужно признать, что при этомъ работа мысли замѣняется чисто механическими пріемами.

Если нужно найти центръ тяжести какой-нибудь плоской фигуры, то ее можно положить на острое ребро $a\,b$ такъ, чтобы она пришла въ равновѣсіе, и тогда провести на этой фигурѣ линію вдоль ребра. Повторивъ это затѣмъ при другомъ положеніи фигуры, мы получимъ линію $c\,d$. Точка пересѣченія этихъ двухъ линій есть центръ тяжести взятой фигуры (рис. 128).

Рис. 128

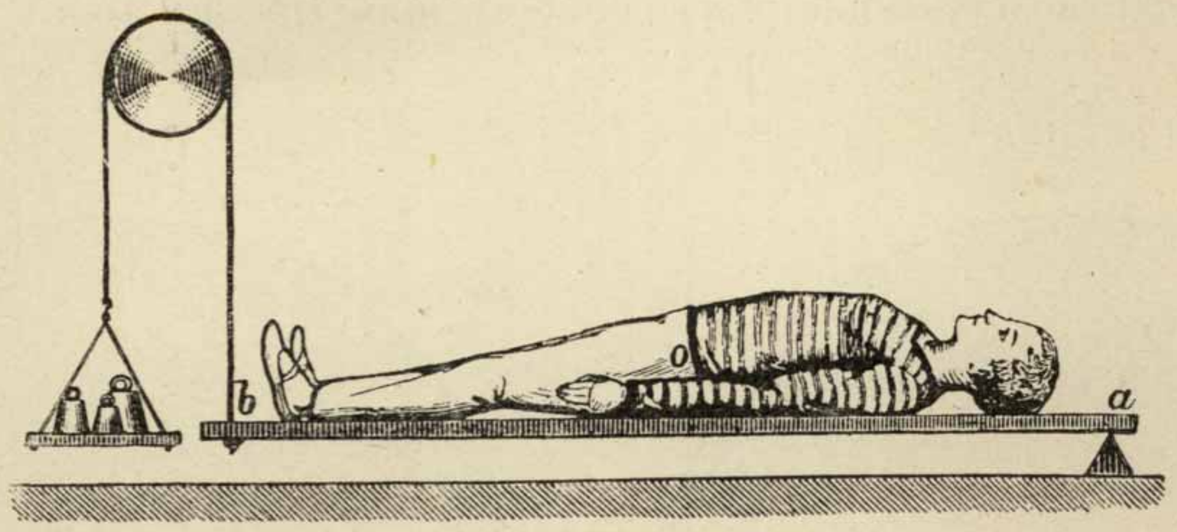


Опредѣленіе центра тяжести при помощи опыта.

Центръ тяжести любого тѣла можно опредѣлить также тѣмъ способомъ, который указываетъ рис. 129. Одинъ конецъ доски покоится на ребрѣ, а другой, какъ видно изъ рисунка, держится на вѣсу. Положивъ тѣло на доску, нужно положить на чашку извѣстный грузъ, чтобы возстановить нарушенное равновѣсіе. Положимъ, что для этого понадобилось 30 *кг*. Если, кромѣ того, извѣстенъ вѣсъ предмета и разстояніе точекъ a и b, то положеніе центра тяжести получается при помощи простого вычисленія. Именно, условіе равновѣсія состоитъ въ томъ, что вѣсъ тѣла относится къ вѣсу груза, дѣйствующаго въ точкѣ b, какъ разстояніе точки b отъ a къ разстоянію центра тяжести отъ a. Если, напримѣръ, $a\,b$ равно 2·5 *м*, а вѣсъ тѣла 75 *кг*, то разстояніе центра тяжести отъ a равно 1 *м*.

Другой способъ нахожденія центра тяжести состоитъ въ подвѣшиваніи тѣла на веревкѣ, укрѣпленной въ произвольной точкѣ тѣла. Центръ тяжести долженъ лежать

Рис. 129



Опредѣленіе центра тяжести при помощи опыта.

на продолженіи веревки. Если поэтому подвѣсить тѣло въ другой точкѣ, то получится вторая линія, на которой также долженъ лежать центръ тяжести. Значитъ, онъ будетъ находиться въ точкѣ пересѣченія этихъ двухъ линій.

127. Тѣло, подпертое или подвѣшенное такъ, что его центръ тяжести не можетъ опускаться, находится въ равновѣсіи. Напротивъ, тѣло, находящееся въ такомъ положеніи, что его центръ тяжести можетъ опускаться, приходитъ въ движеніе (вслѣдствіе силы тяжести).

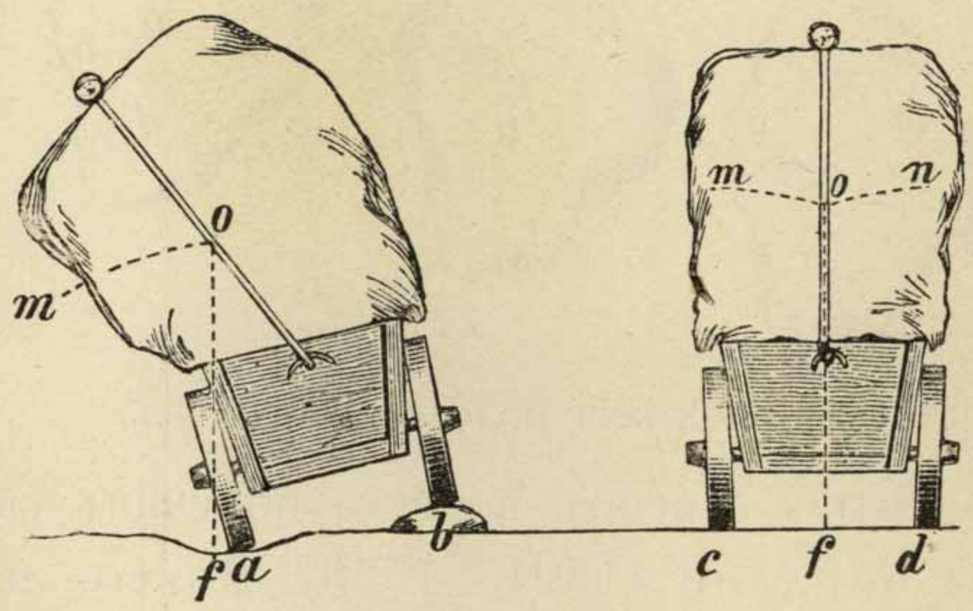
Пусть центръ тяжести тѣла, которое стоитъ на опорной поверхности $a\,b$ (рис.

http://mathesis.ru

130), будетъ въ точкѣ *o*. Тѣло должно опрокинуться влѣво, ибо при вращеніи около *a* центръ тяжести *o* движется по дугѣ круга *o m* и уже въ первое мгновеніе (при положеніи *o*) идетъ нѣсколько внизъ. Такъ будетъ всегда, когда основаніе отвѣсной линіи, опущенной изъ центра тяжести, падаетъ внѣ площади опоры. Если, напротивъ того, эта точка приходится внутри площади опоры *c d*, то тѣло продолжаетъ стоять, такъ какъ движеніе центра тяжести можетъ происходить только по дугѣ *o m* или по дугѣ *o n*, а въ обоихъ этихъ случаяхъ центръ тяжести сперва долженъ немного приподняться.

Когда человѣкъ стоитъ, онъ безсознательно заботится о томъ, чтобы отвѣсная линія изъ центра его тяжести падала внутри площади его опоры, т. е. поверхности, ограниченной тѣми линіями, по которымъ касаются земли наружныя части его подошвъ. Чѣмъ ближе приходится основаніе отвѣса изъ центра тяжести къ этимъ линіямъ, тѣмъ легче можно упасть. Когда же отвѣсъ приходится на точку внѣ площади опоры, то человѣкъ падаетъ, если только онъ сейчасъ же не воспрепятствуетъ начавшемуся паденію, напримѣръ, переставивъ ноги, какъ онъ это постоянно дѣлаетъ при ходьбѣ.

Рис. 130

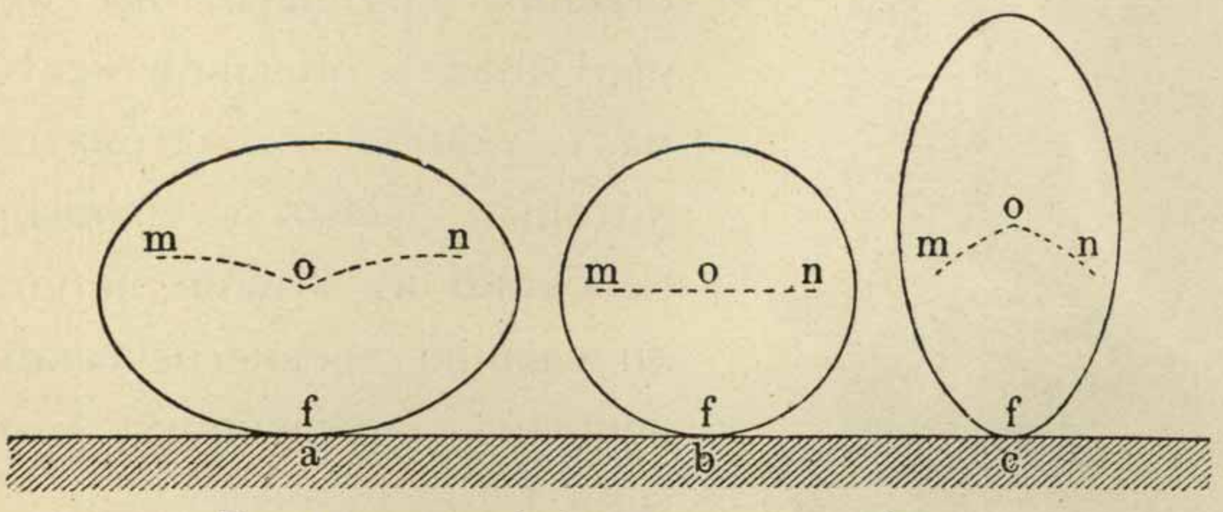


Условіе устойчивости тѣла.

128. Даже если площадь опоры сводится къ одной точкѣ, равновѣсіе сохраняется, разъ эта точка лежитъ по отвѣсу подъ центромъ тяжести. Однако, такое равновѣсіе можетъ обладать различными свойствами.

Если тѣло, опирающееся одной точкой, заставить двигаться (безъ скольженія), то могутъ представиться слѣдующіе случаи: центръ тяжести подымается (рис. 131 *a*), остается на одной и той же горизонтальной линіи (*b*) или опускается (*c*). Если затѣмъ пре-

Рис. 131



Виды равновѣсія лежащаго тѣла.

доставить тѣло самому себѣ, то въ первомъ случаѣ оно вернется къ первоначальному положенію равновѣсія, при которомъ центръ тяжести занимаетъ самое низкое положеніе. Во второмъ случаѣ тѣло будетъ въ равновѣсіи и при новомъ положеніи, и потому оно будетъ оставаться въ этомъ положеніи. Въ третьемъ случаѣ тѣло будетъ продолжать свое движеніе, а центръ его тяжести будетъ двигаться дальше внизъ. Первое тѣло находится въ такъ называемомъ устойчивомъ равновѣсіи, второе въ безразличномъ, третье въ неустойчивомъ.

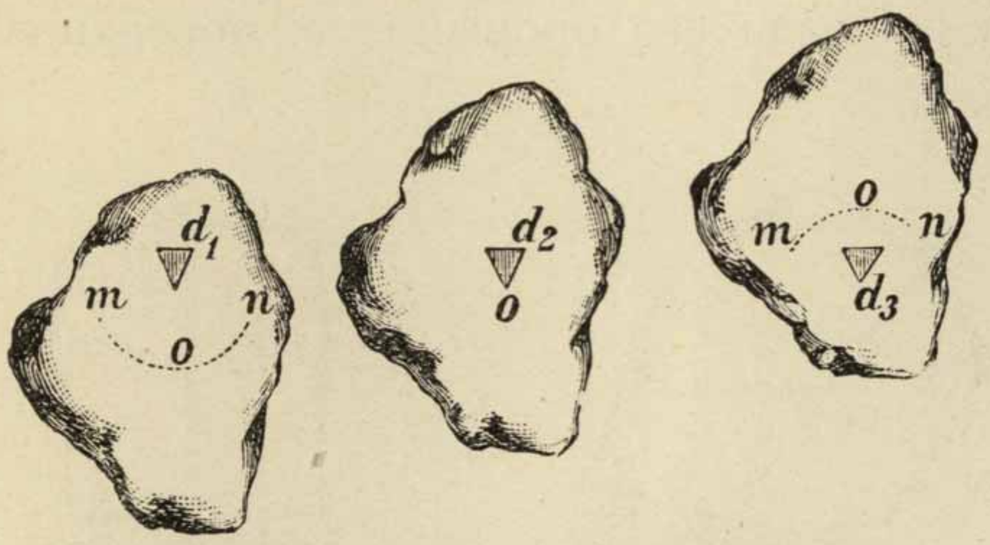
Тѣ же случаи могутъ имѣть мѣсто, если тѣло подвѣшено въ какой-нибудь

http://mathesis.ru

точкѣ d (рис. 132). Соотвѣтственно тому, будетъ ли точка подвѣса лежать надъ центромъ тяжести, въ немъ самомъ или подъ нимъ, тѣло будетъ находиться въ устойчивомъ, безразличномъ или неустойчивомъ равновѣсіи. Въ самомъ дѣлѣ, небольшое движеніе тѣла въ первомъ случаѣ (d_1) будетъ производить поднятіе, въ третьемъ (d_3) пониженіе центра тяжести, тогда какъ во второмъ случаѣ (d_2) центръ тяжести будетъ сохранять свое положеніе.

129. Первый случай лежитъ въ основѣ такъ называемаго Карданова подвѣса, которымъ пользуются для того, чтобы дать предметамъ возможность оставаться въ неизмѣнномъ положеніи даже въ тѣхъ случаяхъ, когда ихъ опора движется взадъ и впередъ (лампы и компасы на судахъ). Центръ тяжести тѣла лежитъ ниже его горизонтальной оси. Концы этой оси лежатъ на кольцѣ, которое въ свою очередь можетъ двигаться около другой оси; направленіе этой второй оси перпендикулярно къ направленію первой (рис. 133).

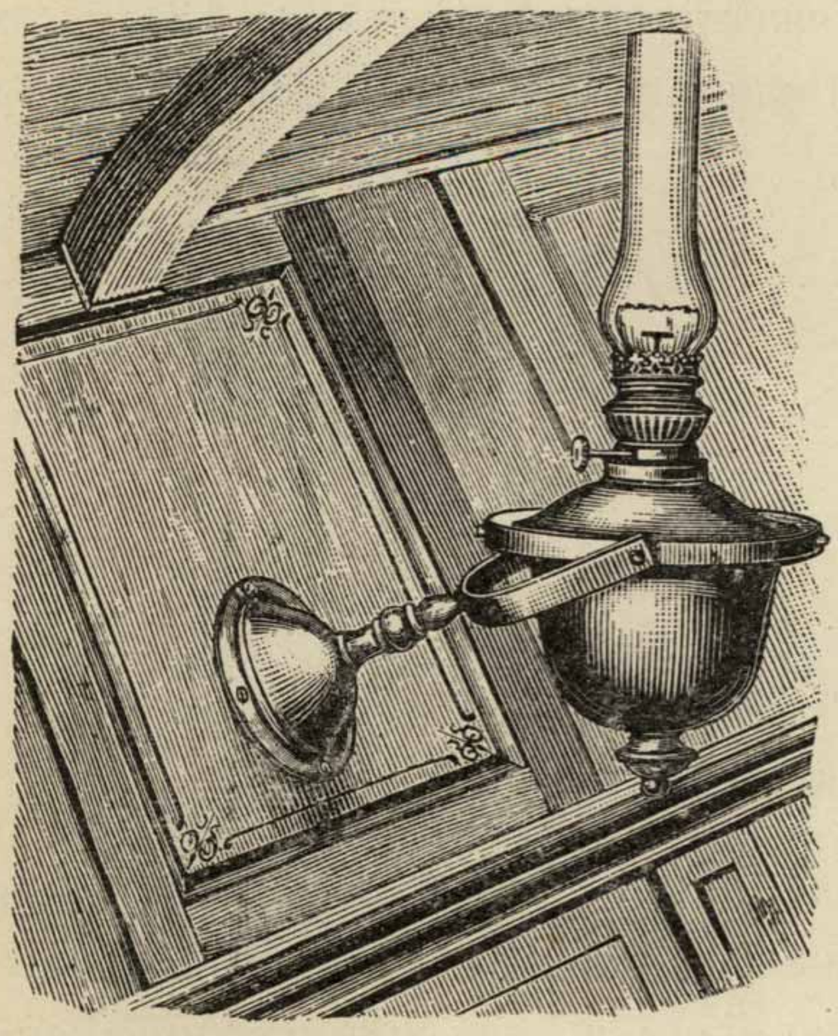
Рис. 132



Виды равновѣсія подвѣшеннаго тѣла.

Этотъ способъ подвѣса получилъ свое названіе отъ итальянскаго математика и врача Кардани (1501—1576). Въ его лицѣ мы находимъ удивительную смѣсь суевѣрій и борьбы съ суевѣріями, что отчасти было обусловлено тогдашнимъ временемъ. Онъ выступалъ, напримѣръ, противъ привидѣній и тому подобнаго, но съ другой стороны вѣрилъ, что 1 апрѣля въ 8 часовъ утра онъ можетъ выпросить у неба все, чего пожелаетъ, хотя не можетъ сдѣлать этого въ другое время. Повидимому, онъ заморилъ себя голодомъ въ томъ году, въ которомъ долженъ былъ умереть по астрологическому предсказанію. Хотя въ области физики Карданъ не сдѣлалъ ничего существенно крупнаго, но онъ много разъ обнаруживалъ большое искусство. Онъ принималъ участіе въ математическихъ диспутахъ, которые часто устраивались въ то время, особенно въ Италіи, и которые много помогли сліянію древнегреческой геометріи съ буквеннымъ счисленіемъ, изобрѣтеннымъ индусами[1]).

Рис. 133



Кардановъ подвѣсъ.

Существуетъ много игрушекъ, въ которыхъ играетъ роль центръ тяжести. Если прикрѣпить на одномъ концѣ палочки изъ бузинной сердцевины кусочекъ свинца и положить эту палочку на столъ, то она сама собою станетъ вертикально. Для того, чтобы заставить штопальную иглу „танцовать“

---

[1]) Такъ называемая Карданова формула рѣшенія уравненій третьей степени составляетъ, однако, какъ призналъ самъ Кардани, изобрѣтеніе его земляка Тарталья (ум. 1559).

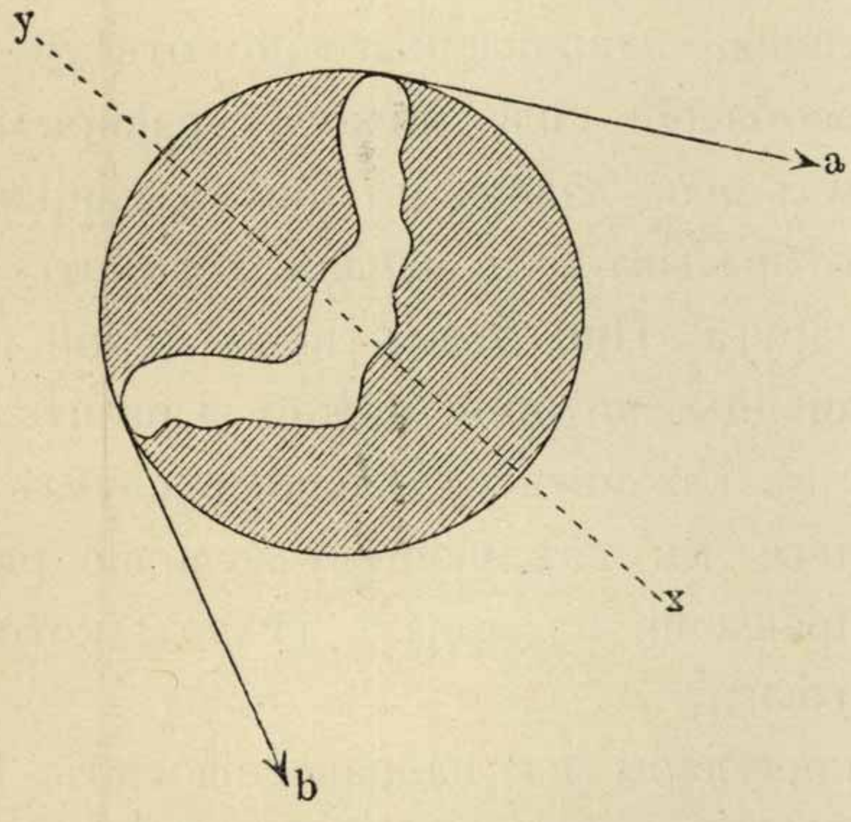
http://mathesis.ru

на головкѣ булавки, ее протыкаютъ вертикально сквозь пробку, въ которую съ боковъ втыкаются двѣ вилки, направленныя косо внизъ. Центръ тяжести всей этой системы лежитъ ниже конца иглы; поэтому, если поставить иглу остріемъ на не слишкомъ гладкую головку булавки, воткнутой въ пробку закупоренной бутылки, то игла вмѣстѣ съ пробкой и вилками будетъ находиться въ устойчивомъ равновѣсіи и потому будетъ плавно колебаться.

130. Въ числѣ тѣхъ, кто впервые въ эпоху возрожденія снова занялся ученіемъ о равновѣсіи Аристотеля, нужно назвать Леонардо да Винчи (§ 109). Особенныя заслуги въ дальнѣйшемъ развитіи этого ученія въ XVI вѣкѣ принадлежатъ Убальдо дель Монте (род. 1545). Окончивъ университетъ, Дель Монте принялъ участіе въ войнѣ противъ турокъ и позднѣе былъ главнымъ инспекторомъ крѣпостей въ Тосканѣ. Онъ пользовался своимъ вліяніемъ, чтобы создать молодому Галилею хорошее положеніе (§ 140), и послѣдній всегда чтилъ въ немъ не только благорасположеннаго друга, но и дѣльнаго физика. Дель Монте былъ истиннымъ представителемъ эпохи возрожденія, — онъ сначала перевелъ ученіе о равновѣсіи Архимеда, а затѣмъ написалъ механику, въ которой развилъ ученіе о равновѣсіи дальше. Дель Монте умеръ въ 1607 году.

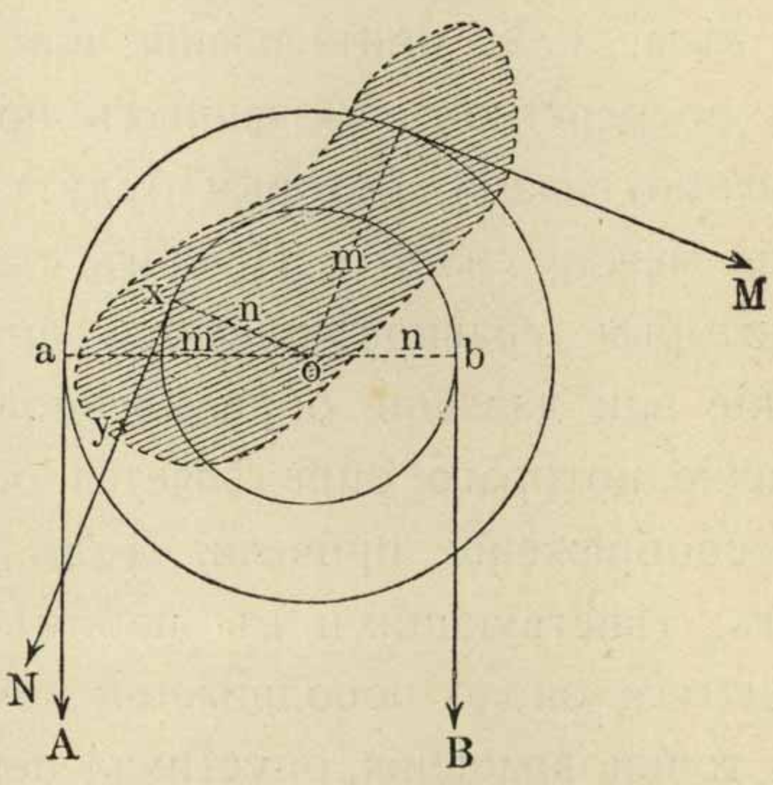
131. Когда на веревку, лежащую на блокѣ, дѣйствуютъ двѣ силы a и b (рис. 134), то само собою понятно, что эти силы будутъ въ равновѣсіи, если онѣ равны. Въ самомъ дѣлѣ, на чертежѣ всѣ части будутъ расположены симметрично относительно линіи xy и нѣтъ никакихъ основаній, почему бы блокъ долженъ былъ повернуться въ одну сторону, а не въ другую.

Рис. 134



Равновѣсіе относительно оси вращенія по Дель Монте.

Рис. 135



Равновѣсіе неравныхъ силъ относительно оси вращенія по Дель Монте.

Затѣмъ непосредственно ясно, что равновѣсіе не нарушится, когда веревка будетъ прикрѣплена къ блоку; оно не нарушится и въ томъ случаѣ, если удалить затѣмъ заштрихованныя части блока. Пока блокъ не вышелъ изъ положенія равновѣсія, конечно, безразлично, есть эти части или онѣ отсутствуютъ.

На двойномъ блокѣ съ радіусами m и n (рис. 135) силы A и B, очевидно, находятся въ равновѣсіи, если онѣ обратно пропорціональны радіусамъ, т. е. если ихъ

http://mathesis.ru

отношеніе равно отношенію n къ m. Въ этомъ случаѣ $a\,b$ можно разсматривать, какъ рычагъ, на который дѣйствуютъ силы A и B. Съ другой стороны, какъ указано выше, сила N должна уравновѣшивать силу B, когда N равна B; точно такъ же сила M должна быть въ равновѣсіи съ силой A, если M равно A. Такимъ образомъ, силы M и N также должны быть въ равновѣсіи, если имѣютъ ту же величину, что и силы A и B, т. е. если онѣ относятся другъ къ другу, какъ n къ m.

Итакъ, если не происходитъ никакого движенія при равновѣсіи силъ M и N, то безразлично, будутъ ли остальныя части двойного блока имѣть форму точнаго круга или же какую угодно другую форму, вродѣ, напримѣръ, указанной штриховкой на рис. 133. Условіе равновѣсія двухъ силъ M и N должно оставаться прежнимъ, какова бы ни была форма остальныхъ частей блока, въ этомъ случаѣ не имѣющихъ значенія. Нѣтъ также необходимости, чтобы веревка, на которую дѣйствуетъ сила N, была закрѣплена въ точкѣ x. Она можетъ быть закрѣплена и въ точкѣ y или въ какомъ угодно другомъ мѣстѣ веревки или ея продолженія.

Тѣ двѣ силы, которыя тянутъ или давятъ на блокъ, рычагъ или другое механическое приспособленіе въ противоположныхъ направленіяхъ, въ то время обыкновенно различались подъ названіемъ силы и груза, такъ какъ такими приспособленіями часто пользовались для того, чтобы двигать грузъ силою руки. Но когда Дель Монте и его послѣдователи выяснили соотношеніе между силою и грузомъ, именно, въ томъ смыслѣ, что дѣло состоитъ не въ движеніи груза силою, а лишь во взаимномъ уравновѣшиваніи ихъ, то стало, очевидно, несущественнымъ, что́ изъ нихъ называть силой и что́ грузомъ. А такъ какъ, кромѣ того, со словомъ „грузъ“ связывается представленіе вѣса, т. е. притягиванія или давленія, направленнаго по отвѣсу внизъ, и такъ какъ посредствомъ названныхъ приспособленій сила можетъ уравновѣшиваться также другими силами, которыя будутъ тянуть или давить по инымъ направленіямъ, то различіе между силой и грузомъ стали отбрасывать и начали говорить лишь о силахъ, которыя уравновѣшиваютъ другъ друга. При этомъ подъ силой разумѣли притягиваніе или давленіе опредѣленной величины, которое можно выразить фунтами и направленіе котораго опредѣляется особо въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ.

Эти соображенія привели Дель Монте къ слѣдующему условію равновѣсія двухъ силъ, дѣйствующихъ въ любомъ направленіи на рычагъ (тѣло), который можетъ вращаться около неподвижной точки (оси):

Изъ точки вращенія опустимъ перпендикуляры на направленія силъ. Если силы обратно пропорціональны длинамъ этихъ перпендикуляровъ и стремятся повернуть тѣло въ противоположныхъ направленіяхъ, то это тѣло находится въ равновѣсіи.

Дель Монте ввелъ, кромѣ того, новый способъ обозначенія, который по своей ясности и наглядности представляетъ значительный шагъ впередъ. Такъ какъ M и N обратно пропорціональны величинамъ m и n, то произведенія Mm и Nn равны между собою. Произведеніе силы на ея разстояніе отъ точки вращенія называется статическимъ моментомъ силы. Итакъ, условія равновѣсія двухъ силъ, дѣйствующихъ на тѣло, которое можетъ вращаться около оси, перпендикулярной къ плоскости силъ, можно формулировать слѣдующимъ образомъ: Силы должны стремиться двигать тѣло въ противоположныхъ направленіяхъ, а ихъ статическіе моменты должны быть равны.

http://mathesis.ru

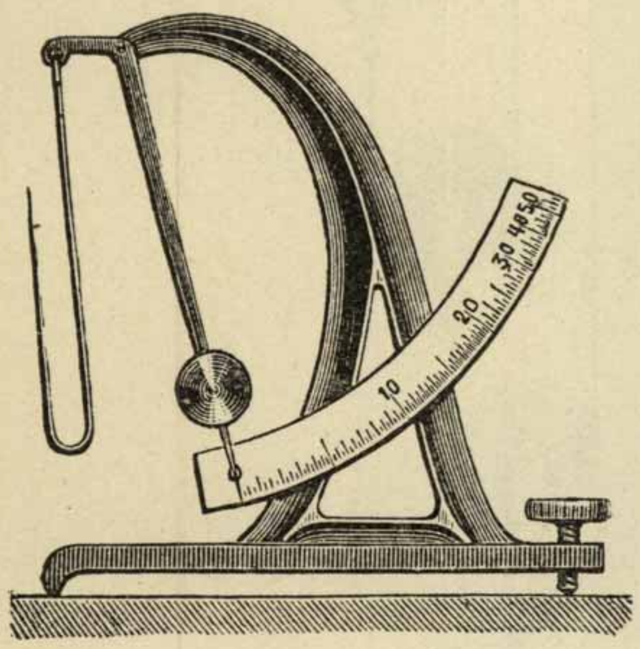
Это положеніе справедливо также и тогда, когда на тѣло дѣйствуетъ больше двухъ силъ. Въ этомъ случаѣ ихъ раздѣляютъ на двѣ группы: въ одну группу выдѣляютъ силы, которыя стремятся повернуть тѣло въ одномъ направленіи, въ другую тѣ, которыя стремятся двинуть его въ противоположномъ направленіи. Тѣло будетъ находиться въ равновѣсіи, если сумма статическихъ моментовъ одной группы равна суммѣ статическихъ моментовъ другой группы.

Примѣръ 1. Ящикъ, наполненный однороднымъ веществомъ, вѣситъ 270 *кг*. Его три ребра имѣютъ въ длину $a = 80$, $b = 100$ и $c = 120$ *см*. Какое горизонтальное давленіе нужно произвести на верхнее ребро, чтобы перевернуть ящикъ около ребра a или около ребра b, если онъ стоитъ на сторонѣ ab? Какое давленіе требуется для того, чтобы перевернуть этотъ ящикъ около a или c, если онъ стоитъ на ac, и какое давленіе для того, чтобы повернуть его около b или c, если онъ стоитъ на bc? Отвѣтъ: $112^1/_2$, 90, 162, 108, $102^1/_2$, $168^3/_4$ *кг*.

Примѣръ 2. Вѣсы для писемъ, рис. 136.

132. Механику сильно подвинулъ впередъ также современникъ Дель Монте, голландецъ Симонъ Стевенсъ, обыкновенно называемый Стевиномъ, родившійся въ Брюгге въ 1548 г. Сначала онъ былъ конторщикомъ у одного антверпенскаго купца, затѣмъ предпринималъ далекія путешествія, 35 лѣтъ отъ роду началъ службу въ Лейденскомъ университетѣ и въ 1620 г. умеръ, состоя въ должности инспектора водяныхъ сооруженій.

Рис. 136



Вѣсы для писемъ.

Стевинъ много занимался изслѣдованіями по механикѣ, принадлежа къ тѣмъ своимъ современникамъ, которые и въ научныхъ работахъ предпочитали родной языкъ латинскому. Въ развитіи наукъ, по его взгляду, должны принимать участіе, какъ можно больше людей, собирая опыты, и потому ученые должны писать на родномъ языкѣ, понятномъ всѣмъ, „какъ это дѣлали греки и даже римляне“. Голландскій языкъ, на которомъ онъ писалъ свои сочиненія, былъ, по его мнѣнію, особенно пригоденъ для яснаго и связнаго изложенія, благодаря большому количеству односложныхъ словъ. На этомъ языкѣ написано его главное сочиненіе „De Beginselen der Weegkonst“. Собраніе его сочиненій было, впрочемъ, издано на французскомъ языкѣ въ 1634 г., уже послѣ его смерти.

Онъ также горячо старался ввести въ употребленіе десятичную систему во всѣхъ вычисленіяхъ, равно какъ и при подраздѣленіи монетъ, мѣръ и вѣсовъ. Но только теперь, спустя 300 лѣтъ, съ введеніемъ единицы длины метра, единицы вѣса грамма и сотеннаго дѣленія большинства монетъ, эта мысль нашла осуществленіе. Замѣчательно, что одна только Англія все еще придерживается старыхъ подраздѣленій.

Образцомъ искусства Стевина можетъ служить устройство повозки съ парусами, которую двигалъ вѣтеръ и въ которой 18 человѣкъ, между ними принцъ Морицъ Нассаускій, въ 2 часа проѣхали четыре голландскія мили.

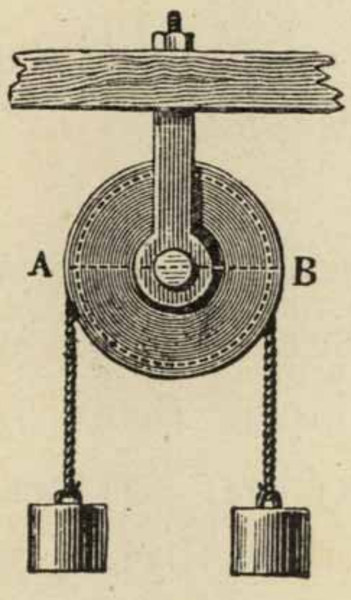
133. Одно замѣчаніе относительно блоковъ, сдѣланное впервые Стевиномъ, впослѣдствіи пріобрѣло большое значеніе. Рис. 137 а представляетъ неподвижный блокъ, т. е. блокъ, ось котораго лежитъ на неподвижныхъ подшипникахъ. Двѣ силы

http://mathesis.ru

находятся въ равновѣсіи, если онѣ равны по величинѣ, на основаніи § 131 или же въ силу того, что такой блокъ можно считать двуплечимъ рычагомъ съ одинаковыми плечами.

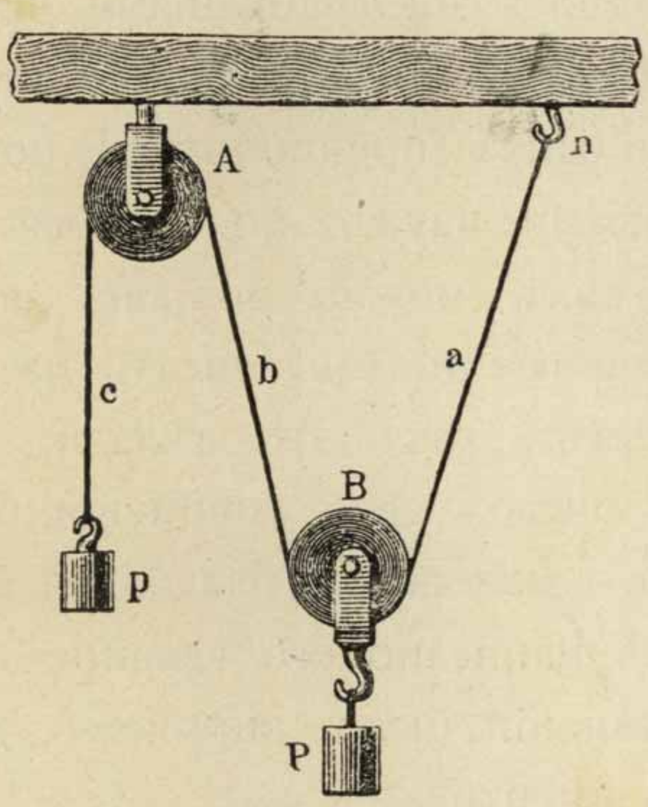
Въ подвижномъ блокѣ (рис. 137 b) одна сила P дѣйствуетъ на обойму, въ которой укрѣплена ось блока. Вмѣсто того, чтобы заставить дѣйствовать какую-нибудь силу b вверхъ, можно перебросить шнуръ черезъ неподвижный блокъ и заставить силу дѣйствовать внизъ. Величина силы отъ этого не измѣнится. Такъ какъ дѣйствіе силы P распредѣляется на обѣ части a и b веревки, то равновѣсіе будетъ достигнуто, если въ b будетъ дѣйствовать сила p, которая вдвое меньше силы P.

Рис. 137 a



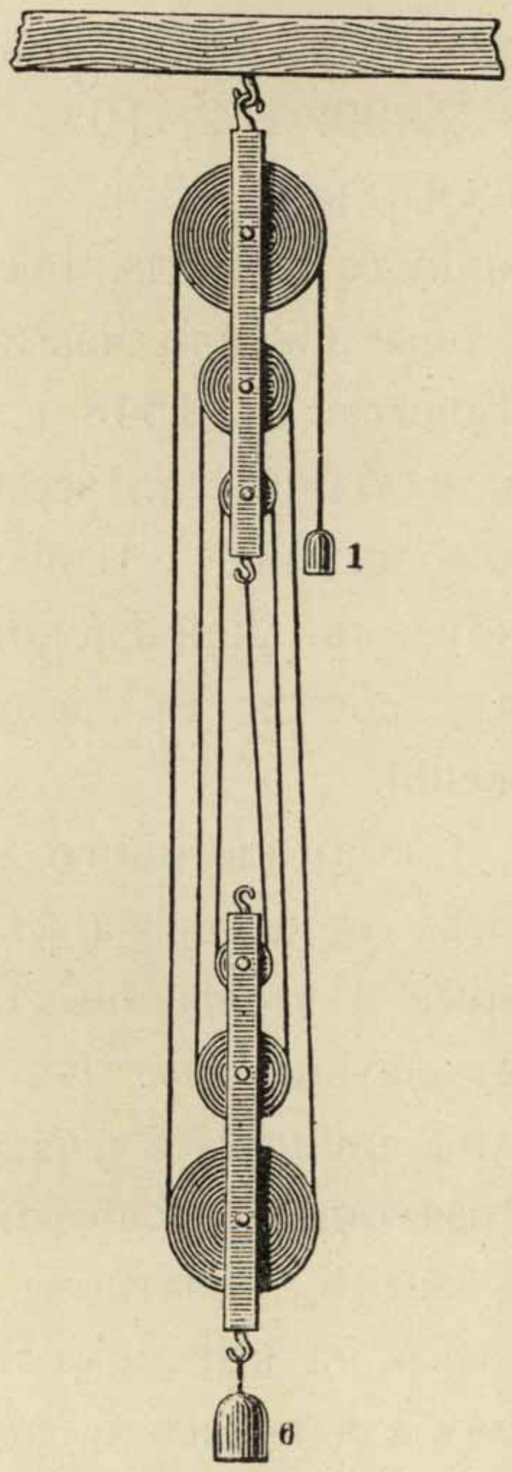
Неподвижный блокъ.

Рис. 137 b



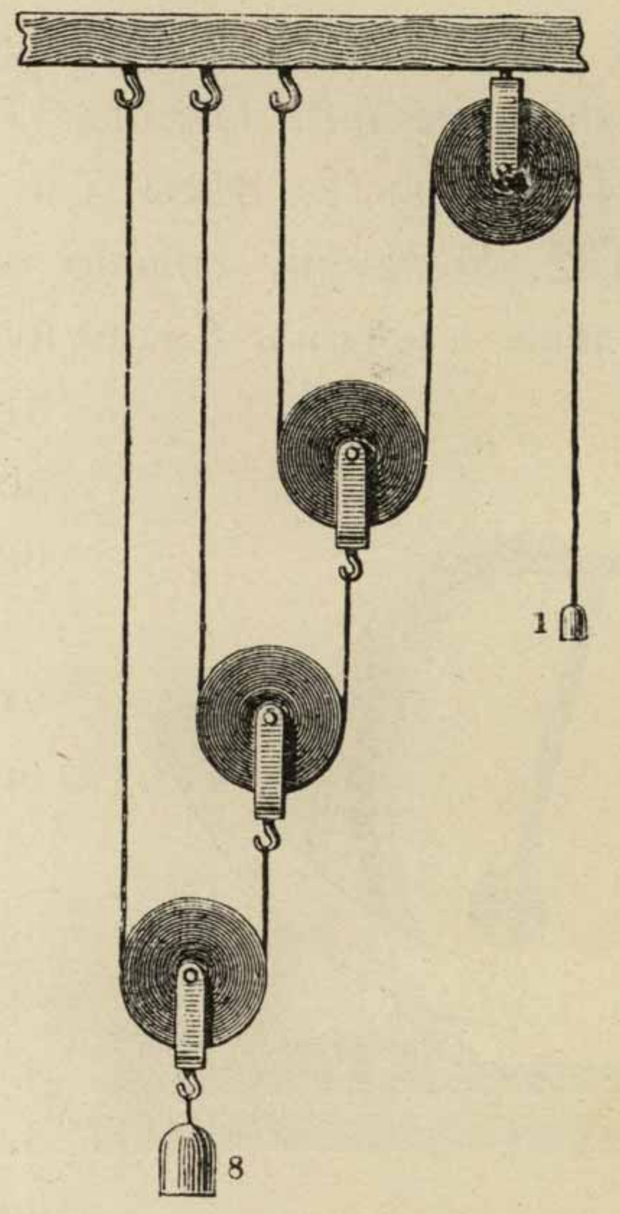
Подвижный блокъ.

Рис. 137 c



Полиспастъ перваго рода.

Рис. 137 d



Полиспастъ второго рода.

Рис. 137 c представляетъ полиспастъ перваго рода или тали. Онъ состоитъ изъ двухъ группъ блоковъ, по нѣсколько въ каждой. Одна изъ этихъ группъ неподвижна, другая подвижна. Веревка укрѣплена въ верхней части и затѣмъ охватываетъ поочередно одинъ блокъ нижней и одинъ блокъ верхней части.

Бо̀льшая сила (грузъ) дѣйствуетъ на подвижную часть, меньшая сила на свободный конецъ веревки. Такъ какъ дѣйствіе тяжести распредѣляется въ данномъ случаѣ на шесть веревокъ, то для равновѣсія на свободномъ концѣ веревки должна быть приложена сила, равная всего только шестой части груза. Вообще здѣсь сила равна грузу, раздѣленному на общее число блоковъ полиспаста.

Въ полиспастѣ второго рода, изображенномъ на рис. 137 d, сила, которая

http://mathesis.ru

должна дѣйствовать на первую веревку, равна половинѣ груза, сила, дѣйствующая на вторую веревку, равна четверти груза, на третью — восьмой его части, на четвертую — шестнадцатой и т. д. Такимъ образомъ, если число блоковъ равно n, то сила должна быть въ 2^n разъ меньше груза[1]).

Если обозначить силу чрезъ A, а грузъ чрезъ B, то въ случаѣ

a.	b.	c.	d.
$A = B$,	$2A = B$,	$6A = B$,	$8A = B$.

Здѣсь Стевинъ и дѣлаетъ слѣдующее замѣчаніе. Если происходитъ маленькое движеніе, напримѣръ, если A слегка подымается, а B немного опускается или наоборотъ, то лишь въ случаѣ a перемѣщеніе груза A будетъ такой же величины, какъ и перемѣщеніе груза B. Въ случаѣ b для того, чтобы грузъ B перемѣстился на одинъ дюймъ, грузъ A долженъ перемѣститься на два дюйма. Въ случаѣ c, если каждая изъ шести частей веревки укорачивается на одинъ дюймъ и, слѣдовательно, грузъ B перемѣщается на одинъ дюймъ, грузъ A долженъ передвинуться на шесть дюймовъ. Въ случаѣ d, для того, чтобы грузъ B могъ передвинуться на одинъ дюймъ, грузъ A долженъ перемѣститься на восемь дюймовъ. Если обозначить движенія грузовъ A и B черезъ a и b, то въ указанныхъ четырехъ случаяхъ получится:

$$a = b, \qquad a = 2b, \qquad a = 6b, \qquad a = 8b.$$

Сравненіе этихъ равенствъ съ предыдущими даетъ слѣдующее положеніе: во сколько разъ одинъ грузъ (или одна сила) больше другого, во столько же разъ его перемѣщеніе меньше перемѣщенія другого груза, или же произведеніе одной силы на ея перемѣщеніе равно произведенію другой силы на ея перемѣщеніе. Но такъ какъ здѣсь имѣетъ мѣсто равновѣсіе, то цѣлесообразнѣе говорить о возможномъ движеніи или о возможной скорости, чѣмъ о дѣйствительномъ движеніи или о дѣйствительной скорости. Такимъ образомъ, этому положенію можно дать слѣдующую формулировку: Данная сила уравновѣшивается другою, если произведеніе первой силы на ея возможное перемѣщеніе равно произведенію другой силы на возможное перемѣщеніе этой второй силы.

134. Это важное положеніе, начало возможныхъ перемѣщеній, было впервые высказано Стевиномъ въ приведенной выше формѣ въ примѣненіи къ блокамъ и полиспастамъ. Его великій современникъ, молодой еще Галилей показалъ, что это положеніе, какъ мы тотчасъ увидимъ, имѣетъ болѣе широкое значеніе, а позднѣе было найдено, что оно вѣрно вообще для всевозможныхъ машинъ.

Примѣръ 1. Нетрудно видѣть, что положеніе Дель Монте о статическихъ моментахъ есть частный случай этого положенія.

Примѣръ 2. Это положеніе можно также примѣнить къ дифференціальному полиспасту (рис. 138). Два блока различныхъ діаметровъ наглухо скрѣплены одинъ съ другимъ (или выточены изъ одного куска) и могутъ вращаться около общей неподвижной оси. Безконечная цѣпь охватываетъ каждый изъ этихъ блоковъ, сдѣланныхъ такъ, что цѣпь не можетъ по нимъ скользить.

Свободно висящая часть этой цѣпи охватываетъ подвижный блокъ, на ось котораго дѣйствуетъ грузъ. Если сила (рука), дѣйствующая на цѣпь, заставляетъ вра-

---

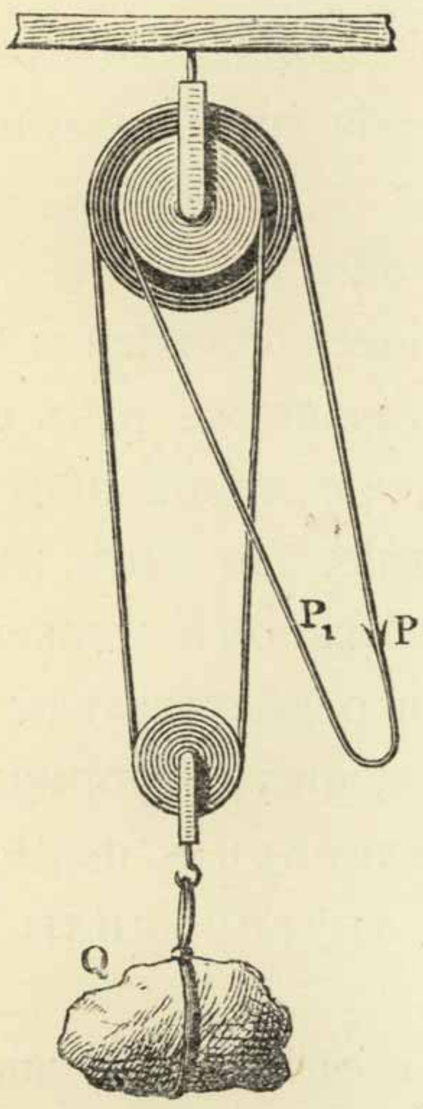
[1]) Отсюда нѣмецкое названіе этого полиспаста: Potenzflaschenzug, „степенной“ полиспастъ. *Прим. пер.*

http://mathesis.ru

щаться дифференціальный блокъ, то большой блокъ подымаетъ вверхъ бо́льшій кусокъ цѣпи, чѣмъ на другой сторонѣ выпускаетъ малый блокъ. Если окружность большого блока будетъ, напримѣръ, 60 *см*, а окружность малаго 55 *см*, то одинъ оборотъ блока вытянетъ 60 *см* цѣпи и выпуститъ 55 *см*. Такимъ образомъ, часть цѣпи, несущая грузъ, укоротится на 5 *см*; а такъ какъ она двойная, то грузъ при этомъ подымается только на 2·5 *см*. Значитъ, въ этомъ примѣрѣ перемѣщеніе руки будетъ въ 24 раза больше перемѣщенія груза и, слѣдовательно, для равновѣсія послѣдняя сила должна быть въ 24 раза больше первой[1]).

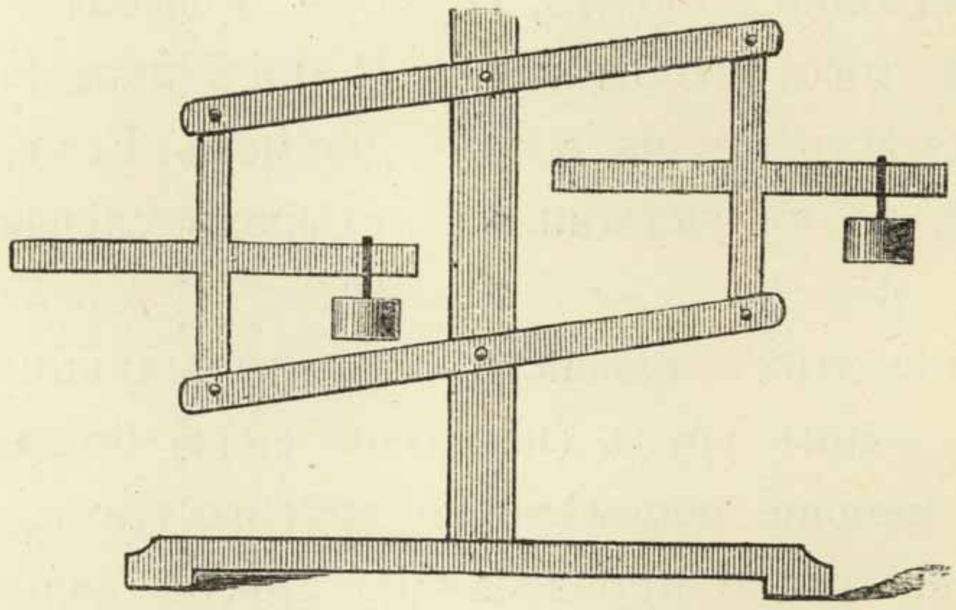
Своеобразное приложеніе того же принципа представляютъ вѣсы Робервaля (рис. 139). Робервaль (1602 — 1675) былъ хорошій математикъ, принимавшій горячее участіе въ математическихъ диспутахъ своего времени. Онъ былъ членомъ Парижской академіи со времени ея учрежденія въ 1665 году.

Рис. 138



Дифференціальный полиспастъ.

Рис. 139



Вѣсы Робервaля.

Два двуплечихъ рычага одинаковой длины вращаются около осей на вертикальномъ штативѣ. Какъ показываетъ рисунокъ, они соединены съ двумя крестами одинаковой величины при помощи четырехъ шарнировъ. Одна полоса каждаго креста находится въ вертикальномъ положеніи, другая въ горизонтальномъ. При вращеніи рычаговъ оба креста удерживаютъ свое отвѣсное положеніе, такъ что каждая точка перваго движется вверхъ настолько же, насколько каждая точка другого креста движется внизъ. Поэтому два груза одинаковой величины должны находиться въ равновѣсіи независимо отъ того, на какое именно мѣсто креста они положены.

На этомъ основаны такъ называемые столовые вѣсы (рис. 140). Ихъ чашки поддерживаются вертикальными стержнями, которые связываютъ концы коромысла со стержнемъ $A'B'$, находящимся въ нижней части вѣсовъ.

135. Начало возможныхъ перемѣщеній легко понять, если представить себѣ двѣ силы въ видѣ двухъ грузовъ, изъ которыхъ каждый, A и B, вѣситъ 1 килограммъ

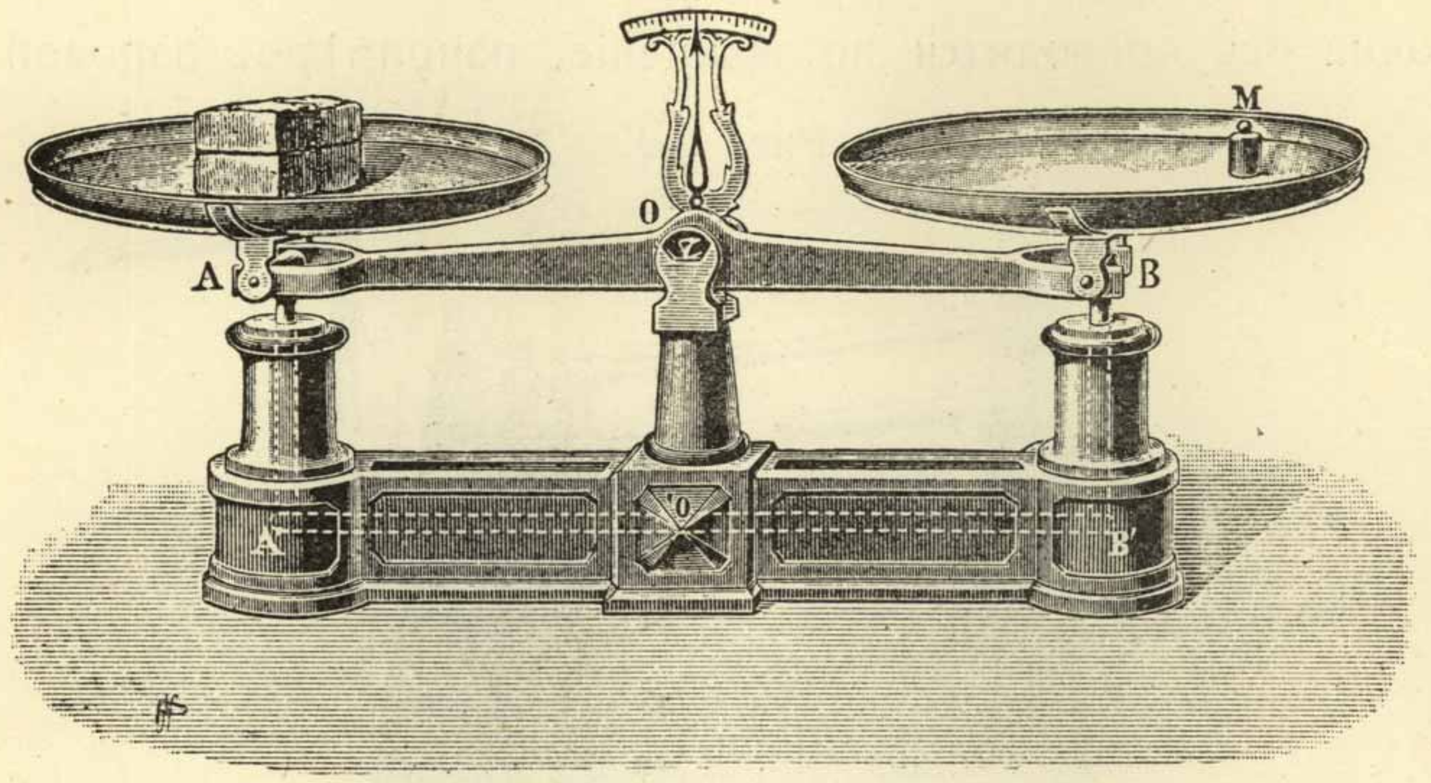
---

[1]) Если окружности блоковъ будутъ O и o, то часть цѣпи, поддерживающая грузъ, при каждомъ оборотѣ будетъ укорачиваться на $O - o$; грузъ, такимъ образомъ, будетъ подыматься на $\frac{O-o}{2}$. Значитъ, $A.O = B.\frac{O-o}{2}$. Отсюда и названіе дифференціальнаго (разностнаго) полиспаста.

http://mathesis.ru

и изъ которыхъ первый движется на a сантиметровъ вверхъ, а второй на b сантиметровъ внизъ. Совершенно естественно, что здѣсь не будетъ никакого движенія и, слѣдовательно, будетъ имѣть мѣсто равновѣсіе, если перемѣщеніе каждаго килограмма на одинъ сантиметръ внизъ будетъ сопровождаться перемѣщеніемъ одного килограмма на одинъ сантиметръ вверхъ. Но это и будетъ имѣть мѣсто, когда $A.a = B.b$.

Рис. 140



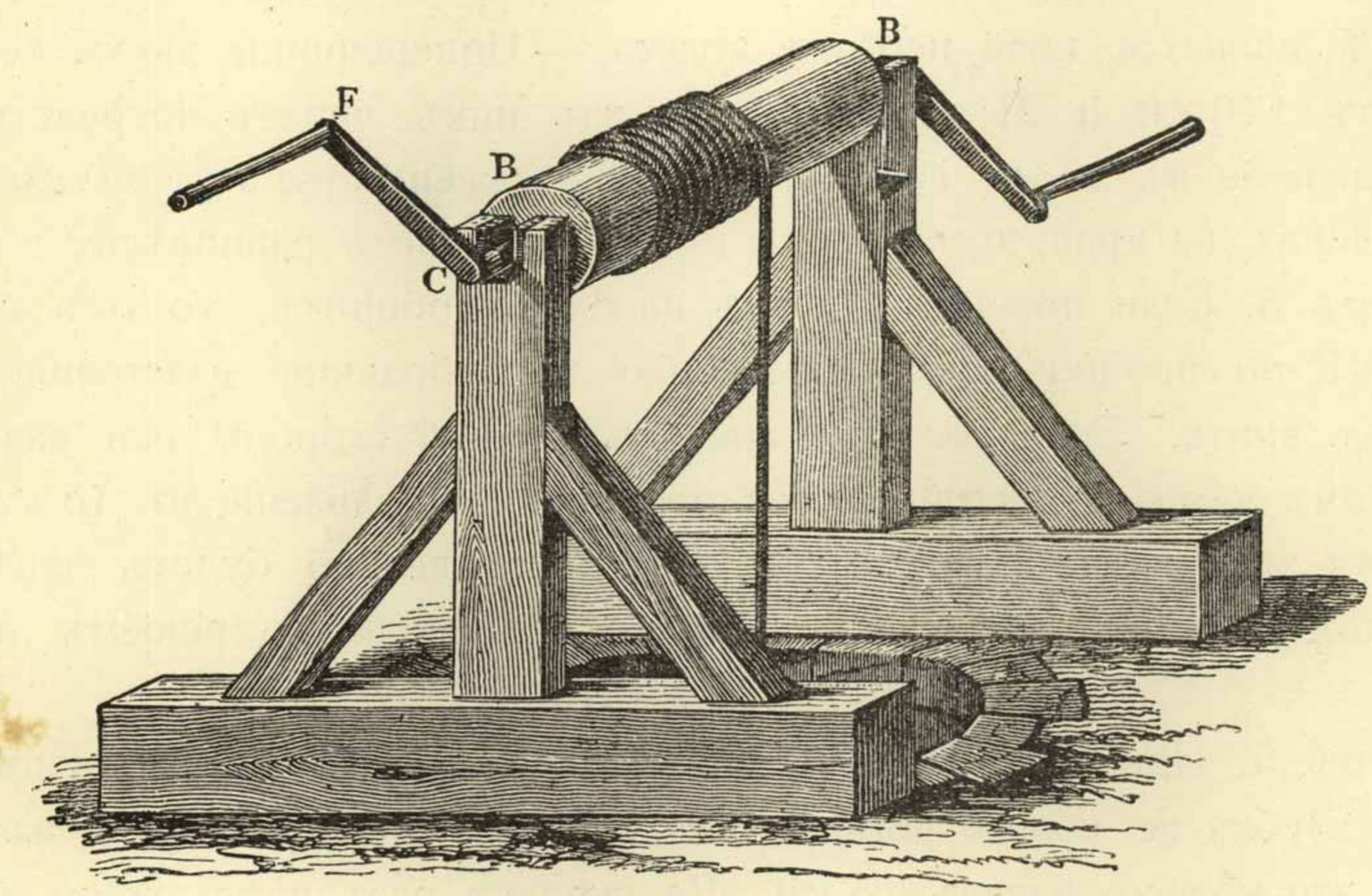
Столовые вѣсы.

Еслибы, напримѣръ, движеніе 12 *кг* на 7 *см* внизъ производило движеніе 14 *кг* на 6 *см* вверхъ, то соотвѣтственныя двѣ силы были бы въ равновѣсіи, такъ какъ 12×7 равно 14×6.

Примѣръ 1. Діаметры дифференціальнаго блока имѣютъ 28 и 27 *см*. Во сколько разъ сила будетъ меньше груза?

Примѣръ 2. Воротъ (рис. 141). Каждую изъ двухъ его ручекъ вращаетъ одинъ человѣкъ. Подымаемое ведро вѣситъ 45 *кг*. Поперечникъ вала равенъ 20 *см*,

Рис. 141



Простой воротъ.

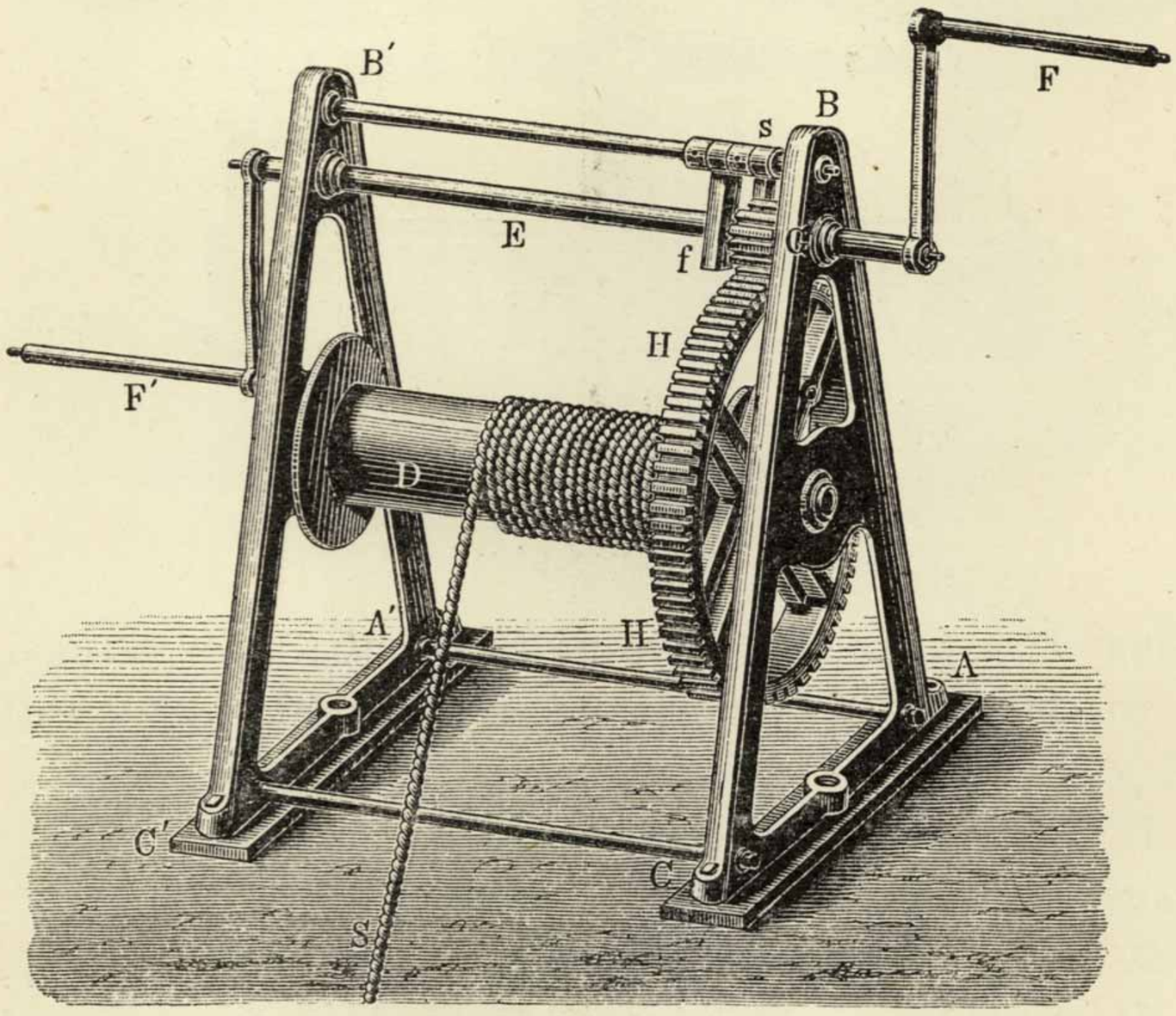
длина рукоятки CF равна 42 *см*. Какое давленіе долженъ оказывать каждый изъ этихъ людей на рукоятку?

http://mathesis.ru

Примѣръ 3. Воротъ съ приводомъ (рис. 142). На каждую изъ двухъ рукоятокъ дѣйствуетъ рука, производя давленіе въ 12 *кг*. Длина рукоятокъ составляетъ 40 *см*, поперечникъ вала 22 *см*. Маленькое зубчатое колесо (шестерня) имѣетъ 12, а колесо, насаженное на валъ, 72 зубца. Съ какой силой тянетъ веревка?

Примѣръ 4. Очень часто при помощи пасовъ и шкивовъ движеніе одной оси передается на другую ось, на бо̀льшемъ или меньшемъ разстояніи отъ первой. „Безконечный“ ремень охватываетъ оба колеса (оси) такъ, что не можетъ соскользнуть съ нихъ. Если одна ось приводится во вращеніе, напримѣръ, паровой машиной, то

Рис. 142



Воротъ съ приводомъ.

должно вращаться и второе колесо, причемъ его край движется съ тою же быстротой, съ какой движется край перваго колеса. — Поперечники двухъ передаточныхъ колесъ имѣютъ 140 *см* и 21 *см*. На первое изъ нихъ, черезъ посредство рукоятки, дѣйствуетъ давленіе въ 25 *кг*. На вторую ось насаженъ кругъ въ 60 *см* діаметромъ. Какимъ давленіемъ на край этого круга можно сохранить равновѣсіе?

Примѣръ 5. Если повернуть винтъ на одинъ оборотъ, то онъ перемѣщается въ своей гайкѣ по продольному направленію на небольшое разстояніе, называемое высотою хода винта. Если длина рычага съ каждой стороны оси равна 17·5 *см*, если на каждомъ концѣ (каждой рукой) производится давленіе въ 15 *кг* и если, наконецъ, высота хода винта равна 2·5 *мм*, то какъ велико будетъ давленіе, производимое винтомъ? (Сопротивленіемъ, которое производится треніемъ, здѣсь нужно пренебречь).

Примѣръ 6. При безконечномъ винтѣ (рис. 116) имѣется рукоятка длиною въ 22·5 *см*. Зубчатое колесо имѣетъ 60 зубцовъ, а поперечникъ вала, на которомъ сидитъ это колесо, равенъ 15 *см*. Во сколько разъ здѣсь грузъ будетъ больше силы?

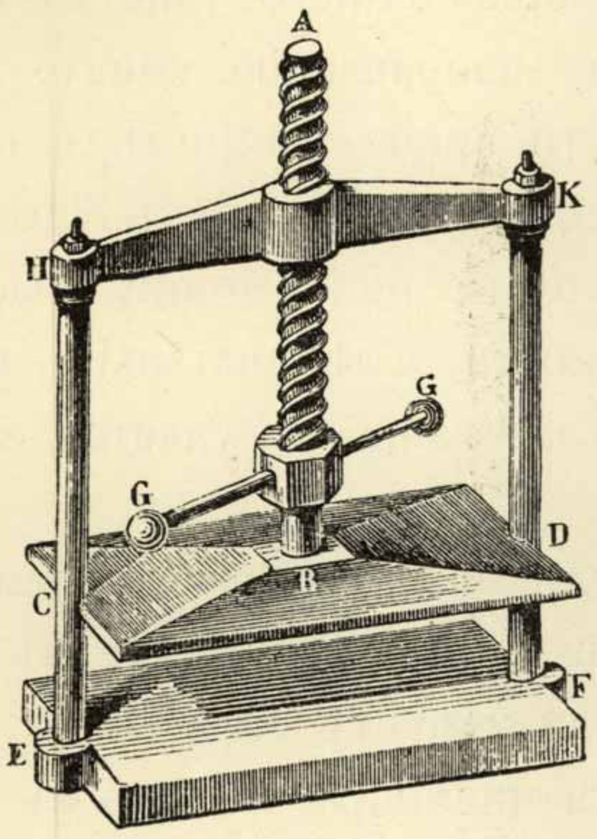
136. Если тѣло можетъ безъ сопротивленія катиться или скользить по наклонной плоскости, то сила, достаточная для того, чтобы помѣшать этому скатыванію (и,

http://mathesis.ru

слѣдовательно, удержать тѣло въ равновѣсіи), должна быть, очевидно, меньше вѣса тѣла. Стевинъ опредѣлилъ величину этой силы оригинальнымъ способомъ, которому онъ придавалъ большое значеніе, такъ что даже заглавная страница одной изъ его книгъ снабжена чертежомъ, воспроизведеннымъ на рис. 144.

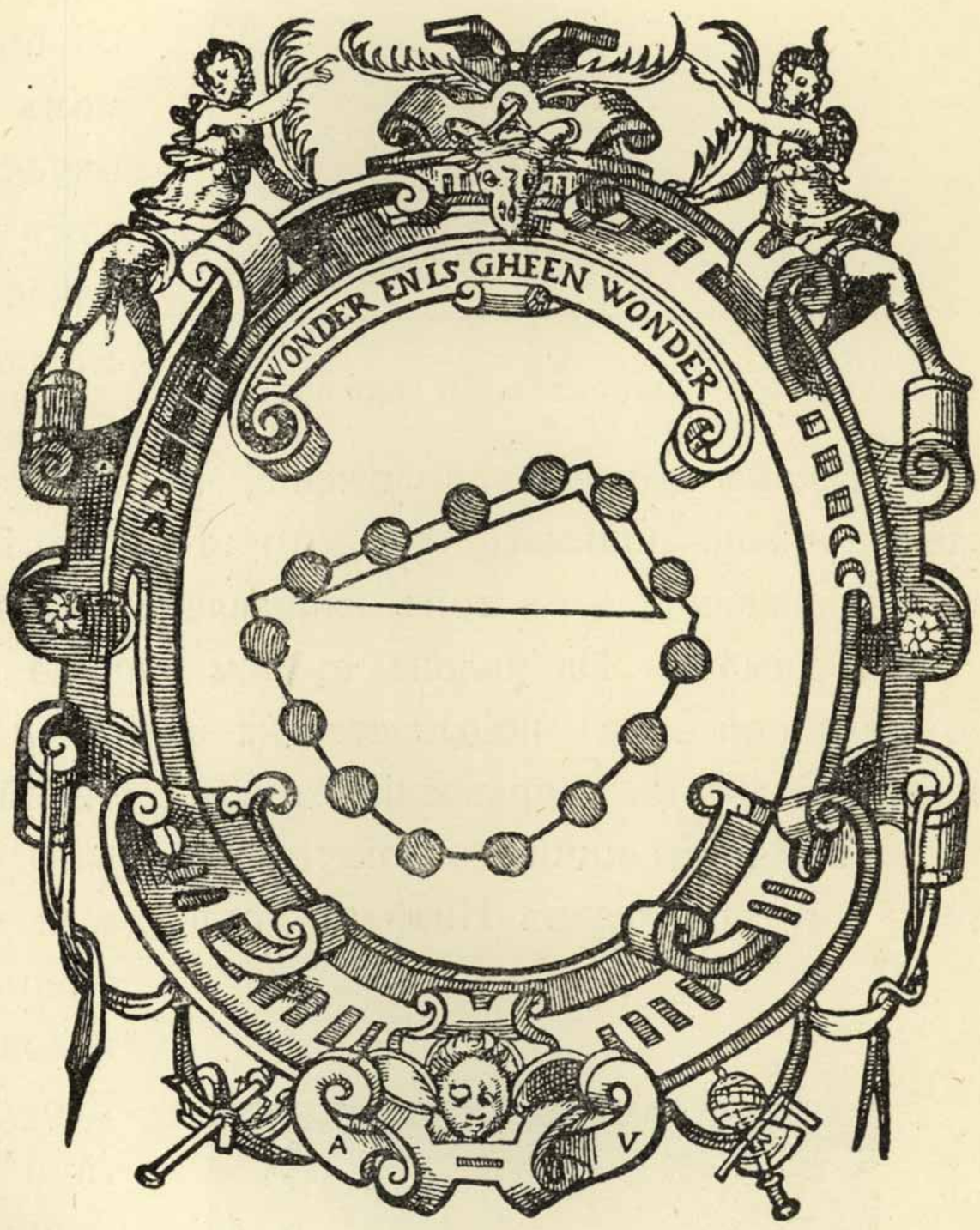
Однородная цѣпь положена вокругъ трехсторонней призмы, нижняя сторона которой горизонтальна; цѣпь лежитъ на двухъ наклонныхъ плоскостяхъ призмы и виситъ въ видѣ дуги подъ ея нижнею частью; она находится, очевидно, въ равновѣсіи:

Рис. 143



Винтовой прессъ.

Рис. 144



Рисунокъ Стевина на заглавной страницѣ („Чудо и не чудо“).

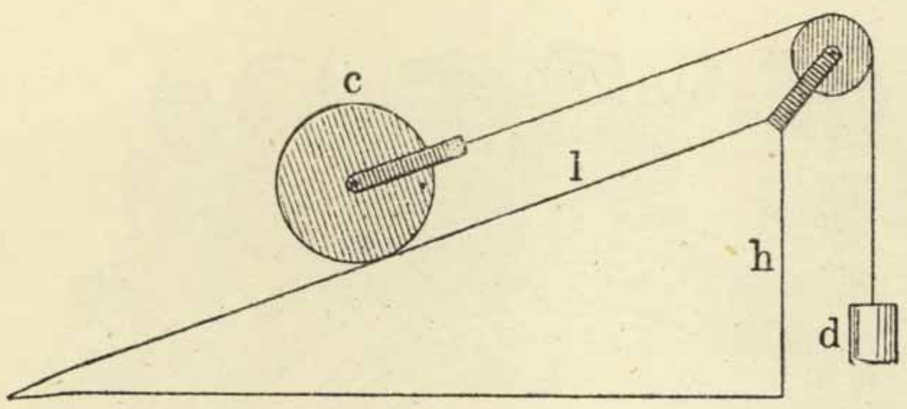
сама собою она не начнетъ соскальзывать ни съ одной, ни съ другой наклонной плоскости. Та часть цѣпи, которая виситъ ниже горизонтальной плоскости призмы, конечно, симметрична и тянетъ обѣ части цѣпи, лежащія на наклонныхъ плоскостяхъ, съ одинаковой силой. Поэтому послѣднія части цѣпи были бы въ равновѣсіи и въ томъ случаѣ, еслибы свободно висящая часть ея совершенно отсутствовала. Но вѣса этихъ двухъ частей цѣпи пропорціональны ихъ длинамъ, слѣдовательно, пропорціональны длинамъ этихъ двухъ наклонныхъ плоскостей. Безразлично, будутъ ли эти части цѣпи имѣть обыкновенную форму цѣпныхъ звеньевъ или онѣ будутъ состоять изъ шаровъ одинаковаго вѣса, связанныхъ шнурами. Такимъ образомъ, это разсужденіе приводитъ къ слѣдующему положенію: два тѣла, связанныя одно съ другимъ шнуромъ, уравновѣшиваютъ другъ друга на двухъ наклонныхъ плоскостяхъ, если ихъ вѣса пропорціональны длинамъ этихъ наклонныхъ плоскостей. Если одна изъ наклонныхъ плоскостей отвѣсна (рис. 145), то тѣло d виситъ свободно и дѣйствуетъ всѣмъ своимъ вѣсомъ, длиною же этой наклонной плоскости h въ такомъ случаѣ является такъ называемая высота другой наклонной плоскости l. Нашему положенію можно поэтому дать такую формулировку: Тѣло (c) на наклонной плоскости удерживается въ равновѣсіи силою

http://mathesis.ru

(*d*), которая дѣйствуетъ въ направленіи наклонной плоскости и относится къ вѣсу тѣла, какъ высота (*h*) наклонной плоскости къ ея длинѣ (*l*).

137. Это предложеніе на первый взглядъ какъ будто не согласуется съ тѣмъ закономъ, что произведенія силъ на возможныя перемѣщенія должны быть одинаковы въ обоихъ направленіяхъ (§ 133); силы *c* и *d* (рис. 145), очевидно, проходятъ равные пути, но сами не равны. Галилей (§ 138 и сл.) дѣлаетъ по этому поводу слѣдующее замѣчаніе: Когда *c* движется по наклонной плоскости вверхъ или внизъ, то длиною наклонной плоскости нельзя считать тотъ путь, на величину котораго тѣло смѣщается изъ своего начальнаго положенія, такъ какъ тяжесть, дѣйствующая на него, тянетъ его только по отвѣсному направленію внизъ. Въ самомъ дѣлѣ, въ то время, напримѣръ, когда *d* опускается на разстояніе *l*, грузъ *c* подымается вверхъ только на величину высоты *h* наклонной плоскости. Слѣдовательно, въ концѣ концовъ согласованіе получается здѣсь и *c.h* равно *d.l*.

Рис 145.



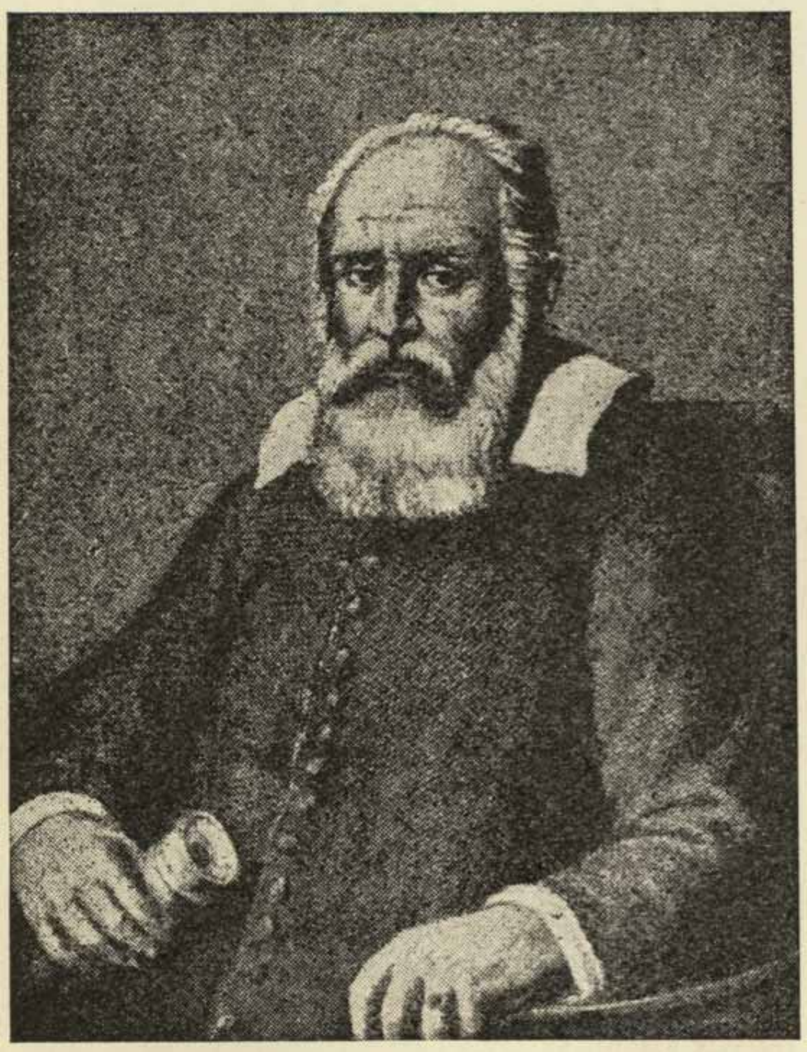
Равновѣсіе на наклонной плоскости

Такимъ образомъ, положеніе, что произведенія силъ на возможныя перемѣщенія равны, нужно понимать такъ, что эти перемѣщенія должны измѣряться не въ направленіи движенія, а въ томъ направленіи, въ которомъ дѣйствуетъ сила.

Примѣръ. На уклонъ въ 6 *м* длиною вкатывается цилиндръ вѣсомъ въ 300 *кг*, который при этомъ подымается на высоту 0·5 *м*. Какъ велика сила, дѣйствующая на ось цилиндра въ направленіи этой наклонной плоскости?

138. Настоящимъ основателемъ новаго естествознанія является Галилео Галилей. Онъ родился въ Пизѣ въ тотъ самый день, 18 февраля 1564 г., въ который умеръ въ Римѣ Микель-Анджело. Галилей происходилъ изъ старинной дворянской фамиліи. Его отецъ, „богатый дѣтьми, но бѣдный деньгами“, первоначально предназначалъ его въ купцы. Но сынъ дѣлалъ такіе успѣхи въ латинской школѣ, что отецъ рѣшилъ дать ему возможность посѣщать университетъ для изученія медицины. Однажды въ 1583 г. Галилей замѣтилъ въ Пизанскомъ соборѣ, что двѣ лампады различной величины, но висѣвшія на шнурахъ одинаковой длины, раскачались и продолжали качаться въ тактъ другъ другу. Раздумывая объ этомъ явленіи, онъ нашелъ, что оно противорѣчитъ сочиненіямъ Аристотеля. Именно, лампада, удалившись дальше всего отъ положенія равновѣсія, снова движется къ нему, какъ бы падая (правда, не по отвѣсу, но все же внизъ). Она приходитъ къ этому положенію съ извѣстной скоростью, вслѣдствіе чего проходитъ дальше положенія равновѣсія, затѣмъ снова возвращается къ нему и т. д.

Рис. 146



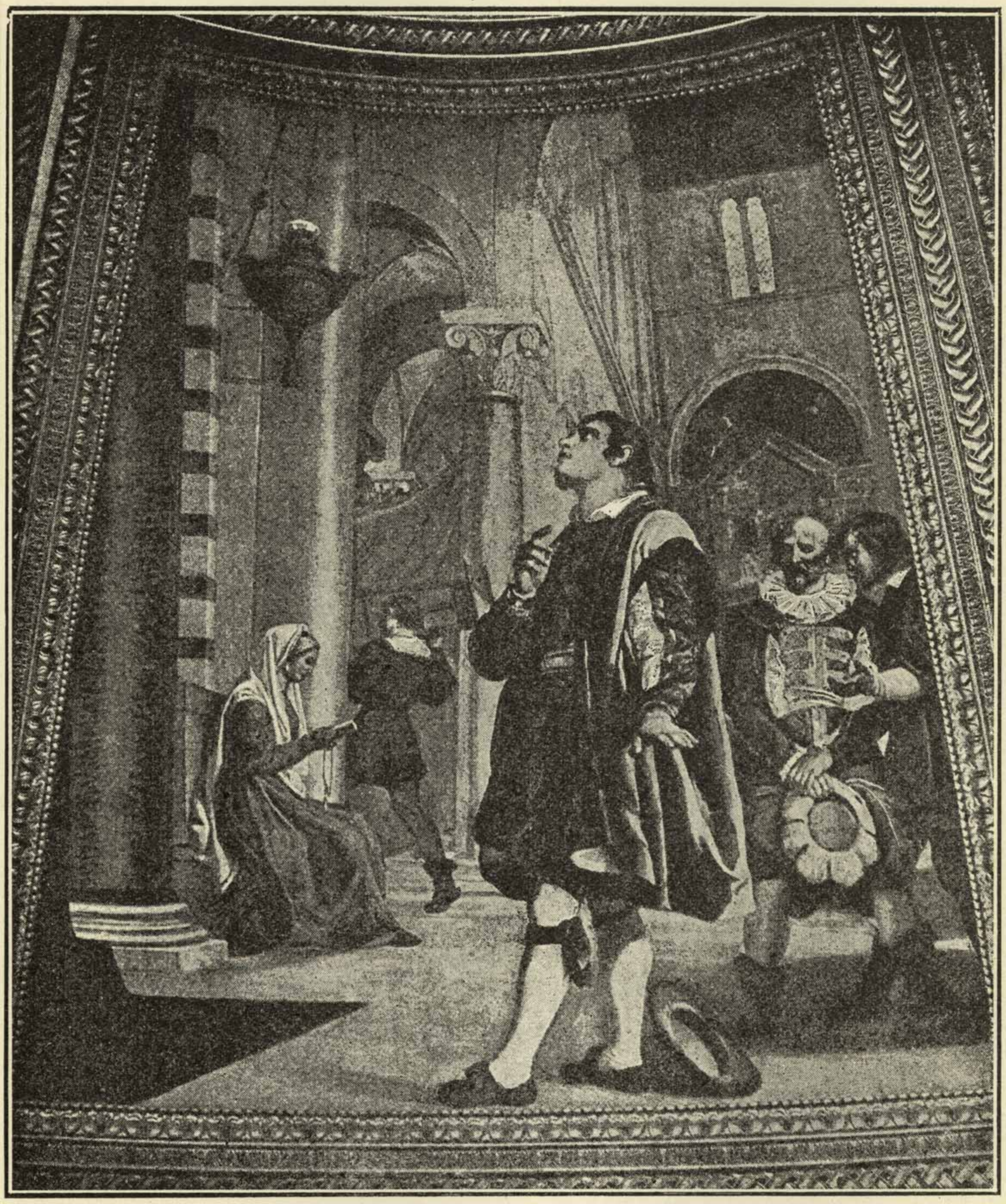
Галилей.

http://mathesis.ru

Галилей понялъ, что стремленіе падать должно быть одинаково сильно у двухъ различныхъ лампадъ, такъ какъ обѣ онѣ двигались одинаково быстро и, слѣдовательно, ихъ паденіе происходило въ одинаковое время. Аристотель же, напротивъ того, училъ, что предметъ вдвое бо̀льшаго вѣса падаетъ съ удвоенною скоростью.

139. Но Галилей нашелъ, что послѣднее очень маловѣроятно: „если одна лошадь можетъ пробѣгать въ часъ 3 мили и другая столько же, то онѣ не пробѣгутъ

Рис. 147



Девятнадцатилѣтній Галилей наблюдаетъ качанія лампадъ въ Пизанскомъ соборѣ (съ картины въ Tribuna di Galilei во Флоренціи).

6 миль, если ихъ запречь вмѣстѣ; и если одна фунтовая гиря падаетъ на 16 футовъ въ секунду и другая фунтовая гиря столько же, то эти два груза не могутъ падать вдвое скорѣе, если ихъ связать другъ съ другомъ такъ, чтобы онѣ образовали одну двухфунтовую тяжесть“. Это доказательство такъ ясно, что нужно только удивляться, какъ его не видѣли раньше. — Однако, противъ 2000-лѣтняго авторитета Аристотеля молодой человѣкъ не могъ выступать съ одними только умозаключеніями.

http://mathesis.ru

Онъ долженъ былъ произвести опыты, сдѣлать которые было особенно легко съ Падающей башни въ Пизѣ (она видна справа на заднемъ планѣ рис. 148) Галилей бросалъ съ нея тѣла различнаго вѣса и нашелъ, что всѣ тѣла падаютъ съ одина-

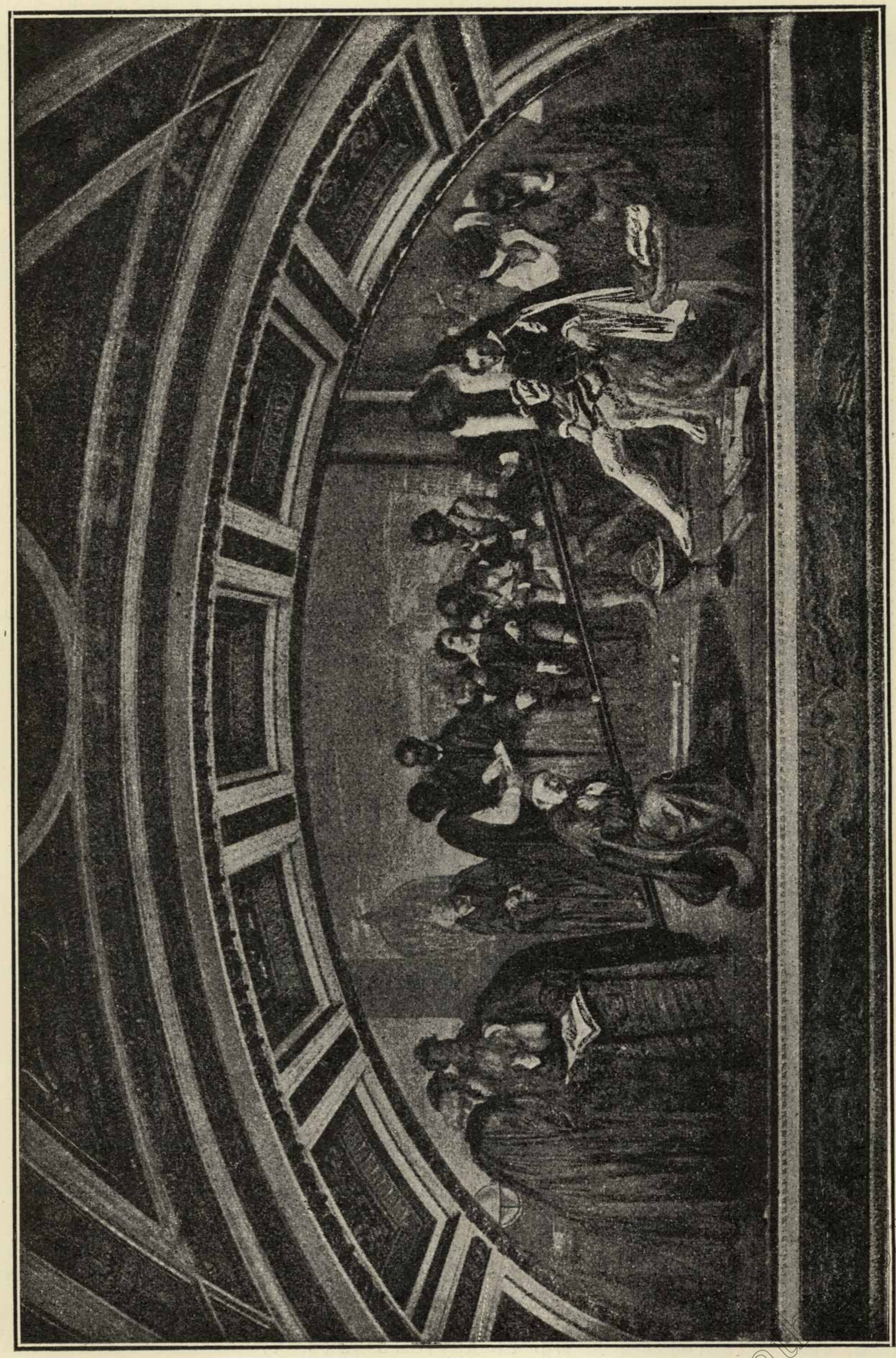


Рис. 148 — Галилей изучаетъ паденіе по наклонной плоскости. Самъ онъ стоитъ за нею по срединѣ. Колѣнопреклоненный монахъ опредѣляетъ время, считая удары пульса. Слѣва нѣсколько человѣкъ изучаютъ Аристотеля, справа сидитъ сынъ великаго герцога (съ картины въ Tribuna di Galilei)

ковой скоростью, если только ихъ поверхность не очень велика въ сравненіи съ ихъ вѣсомъ, что̀ можетъ сдѣлать замѣтнымъ сопротивленіе воздуха падающему тѣлу.

Но если тѣло имѣетъ большую поверхность по отношенію къ своему вѣсу (перья, бумага и т. п.), то оно падаетъ медленнѣе. То же относится и къ мелко раздробленнымъ частицамъ тяжелыхъ веществъ, напримѣръ, къ опилкамъ, такъ какъ и здѣсь поверхность велика въ сравненіи съ вѣсомъ. Въ самомъ дѣлѣ, если поперечникъ свинцоваго шарика равенъ $^1/_{10}$ поперечника другого свинцоваго шарика, то его поверхность составитъ только $^1/_{100}$ поверхности, а вѣсъ $^1/_{1000}$ вѣса второго шара. Такимъ образомъ, меньшій грузъ будетъ испытывать сопротивленіе въ 100 разъ меньше, чѣмъ большой, но все же въ 10 разъ больше, чѣмъ каждая тысячная доля послѣдняго.

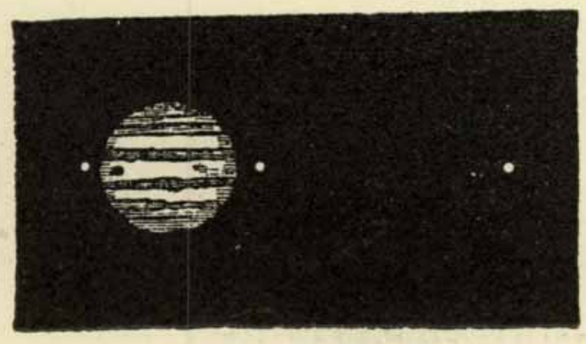
Позднѣе, уже послѣ изобрѣтенія воздушнаго насоса, было доказано, что въ безвоздушномъ пространствѣ кусокъ свинца и перо падаютъ дѣйствительно съ одинаковой скоростью. Но доказательствомъ этого можетъ также служить слѣдующій очень простой опытъ. На большую монету, которую держатъ въ горизонтальномъ положеніи, накладываютъ кусочекъ бумаги, меньше монеты, и затѣмъ даютъ монетѣ падать вмѣстѣ съ бумажкой. Теперь бумажка падаетъ на землю съ тою же скоростью, какъ и монета, такъ какъ ей не приходится преодолѣвать сопротивленія воздуха. Конечно, нужно, чтобы монета падала въ горизонтальномъ положеніи и чтобы струя воздуха не ~~могъ~~ проникала между нею и бумагой.

140. Эти опыты Галилея на Падающей башнѣ въ Пизѣ послужили началомъ цѣлаго ряда другихъ опытовъ, при помощи которыхъ Галилей обосновалъ ученіе о движеніи; этимъ онъ, такъ сказать, возвелъ опытъ въ методъ изслѣдованія природы. Конечно, и раньше уже въ нѣкоторыхъ отдѣльныхъ случаяхъ производились опыты какъ, напримѣръ, опыты Птолемея надъ преломленіемъ свѣта и опыты Аристотеля съ опредѣленіемъ вѣса пузыря. Но основаніе настоящаго искусства экспериментированія —искусства, такъ сказать, выспрашивать природу посредствомъ систематическихъ опытовъ — представляетъ одну изъ великихъ заслугъ Галилея. Опыты на Падающей башнѣ въ Пизѣ дали толчокъ къ разработкѣ подобныхъ методовъ, благодаря которымъ связь между явленіями природы становится все яснѣе и яснѣе.

Совершенно естественно, что молодой человѣкъ, нашедшій ошибки у Аристотеля, могъ возгордиться; но товарищи, съ которыми онъ много говорилъ объ этихъ вещахъ, совершенно не понимали его идей. Онъ не публиковалъ о нихъ ничего, пока не достигъ 25 лѣтъ отъ роду и не получилъ, по рекомендаціи Дель Монте (§ 130), мѣста учителя математики въ Пизѣ.

Весьма основательная критика Аристотеля Галилеемъ, само собою разумѣется, встрѣтила большое одобреніе, но создала ему также многихъ противниковъ, главнымъ образомъ потому, что Галилей подрывалъ авторитетъ Аристотеля. Его противники воспользовались также тѣмъ обстоятельствомъ, что Галилей (впрочемъ, совершенно справедливо) раскритиковалъ землечерпательную машину, изобрѣтенную сыномъ великаго герцога Козимо I. Ему устраивали столько непріятностей, что онъ, наконецъ, отказался отъ своей должности. Къ счастью, его карьера нисколько не пострадала отъ этого, такъ какъ Дель Монте и одинъ венеціанскій другъ, по имени Сагредо, пристроили Галилея на мѣсто преподавателя университета въ Падуѣ, которая въ то время принадлежала Венеціанской республикѣ. Здѣсь, въ возрастѣ 27 лѣтъ, Галилей

Рис. 149



Юпитеръ и его спутники.

http://mathesis.ru

произвелъ тѣ работы, которыя составляютъ основу ученія о движеніи и о которыхъ будетъ еще сказано ниже. Кромѣ того, онъ читалъ здѣсь превосходныя лекціи многочисленнымъ слушателямъ, къ которымъ принадлежалъ также Густавъ Адольфъ, впослѣдствіи король Шведскій.

Въ 1609 г. Галилей услышалъ объ изобрѣтеніи голландской зрительной трубы (§ 133) и тотчасъ взялся самъ за ея изготовленіе. Готовый инструментъ онъ послалъ своему правительству въ Венецію. Оказалось, что этотъ инструментъ былъ гораздо лучше полученнаго изъ Голландіи. Сенаторы, которые осматривали съ башни

Рис. 150



Лунный ландшафтъ съ кратеромъ „Коперникъ“.

Адріатическое море въ эту трубу и нашли, что при ея помощи можно увидѣть вражескій флотъ на большомъ разстояніи, наградили Галилея назначеніемъ ему пожизненной пенсіи, которая была втрое больше его жалованья.

141. Самъ Галилей далъ своей трубѣ совершенно другое употребленіе, сдѣлавъ при ея помощи въ короткое время цѣлый рядъ важныхъ открытій на небѣ. Впрочемъ, имѣя въ рукахъ хорошую зрительную трубу, конечно, было нетрудно сдѣлать эти открытія. Несмотря на большое удивленіе, которое они вызвали, и связанный съ ними интересъ, ихъ все же нельзя считать величайшимъ изъ дѣлъ Галилея, принимая даже во вниманіе совершенство и тщательность его работы. Уже въ 1610 г. онъ работалъ съ трубою, равной которой въ Голландіи не было даже въ 1637 г.; тамъ въ это время еще не могли наблюдать многаго изъ того, что открылъ Галилей. Важнѣйшими астрономическими открытіями Галилея были слѣдующія.

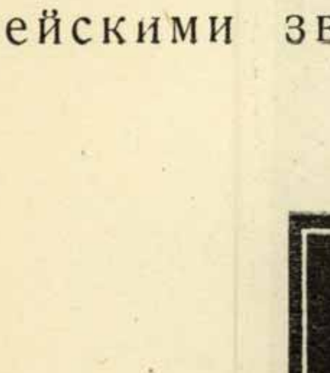
142. Планета Юпитеръ имѣетъ четыре луны или спутника, которые движутся вокругъ нея. Но такъ какъ ихъ пути лежатъ приблизительно въ той же плоскости, въ которой движутся вокругъ солнца земля и Юпитеръ, то кажется, будто эти луны движутся около Юпитера по прямой линіи и притомъ такъ, что онѣ поочередно

http://mathesis.ru

отходятъ отъ Юпитера то въ одну, то въ другую сторону, а затѣмъ снова приближаются къ нему.

При наблюденіи луны Галилей нашелъ, что ея поверхность усѣяна кратерообразными горами, которыя отбрасываютъ черныя тѣни частью на равнины, частью внутрь кратеровъ. Галилей тотчасъ же указалъ, какъ можно опредѣлить высоты этихъ горъ, измѣряя длину ихъ тѣней при извѣстномъ положеніи солнца.

Рис. 151

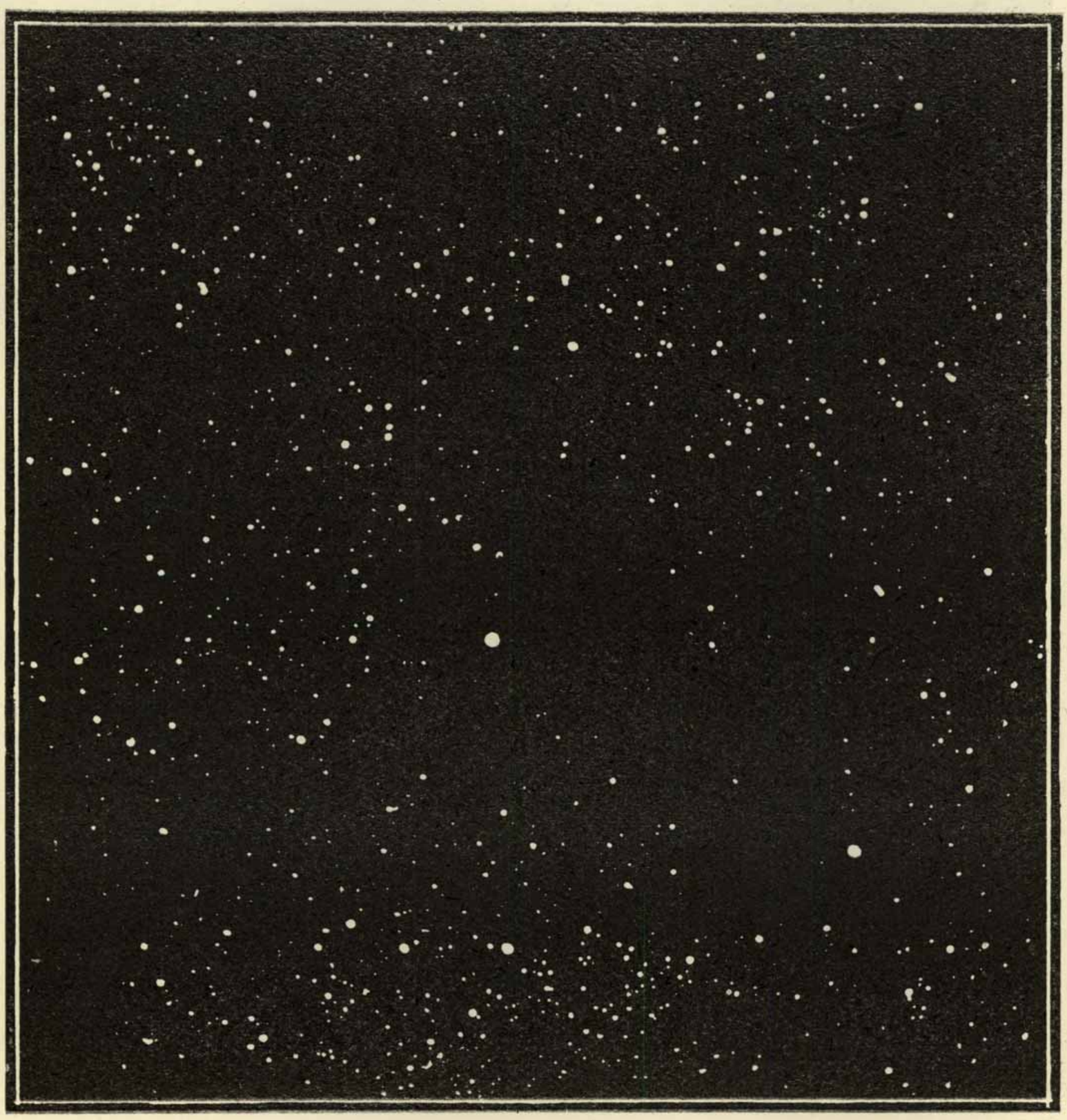


Часть созвѣздія Близнецовъ, какъ она представляется невооруженному глазу.

Неподвижныя звѣзды въ телескопъ не кажутся больше, скорѣе онѣ даже меньше, рѣзче и сильнѣе мерцаютъ, но ихъ видно значительно больше, чѣмъ при наблюденіи невооруженнымъ глазомъ. Бѣловатое сіяніе Млечнаго Пути, какъ показала зрительная труба, разрѣшается въ неисчислимые рои слабыхъ звѣздъ.

143 Въ 1610 г. Галилей послалъ сочиненіе объ этихъ открытіяхъ, между прочимъ, также и Козимо II, который былъ въ то время великимъ герцогомъ на его родинѣ въ Тосканѣ. Кромѣ того, Галилей оказалъ ему особую честь, назвавъ луны Юпитера Медичейскими звѣздами. Въ отвѣтъ онъ получилъ профессорскую кафедру въ Пизѣ

Рис. 152



То же мѣсто неба, что и на рис. 151, въ зрительную трубу.

съ большимъ содержаніемъ, что, однако, не обязывало его жить въ Пизѣ. Напротивъ, великій герцогъ охотнѣе всего удерживалъ Галилея при себѣ во Флоренціи.

http://mathesis.ru

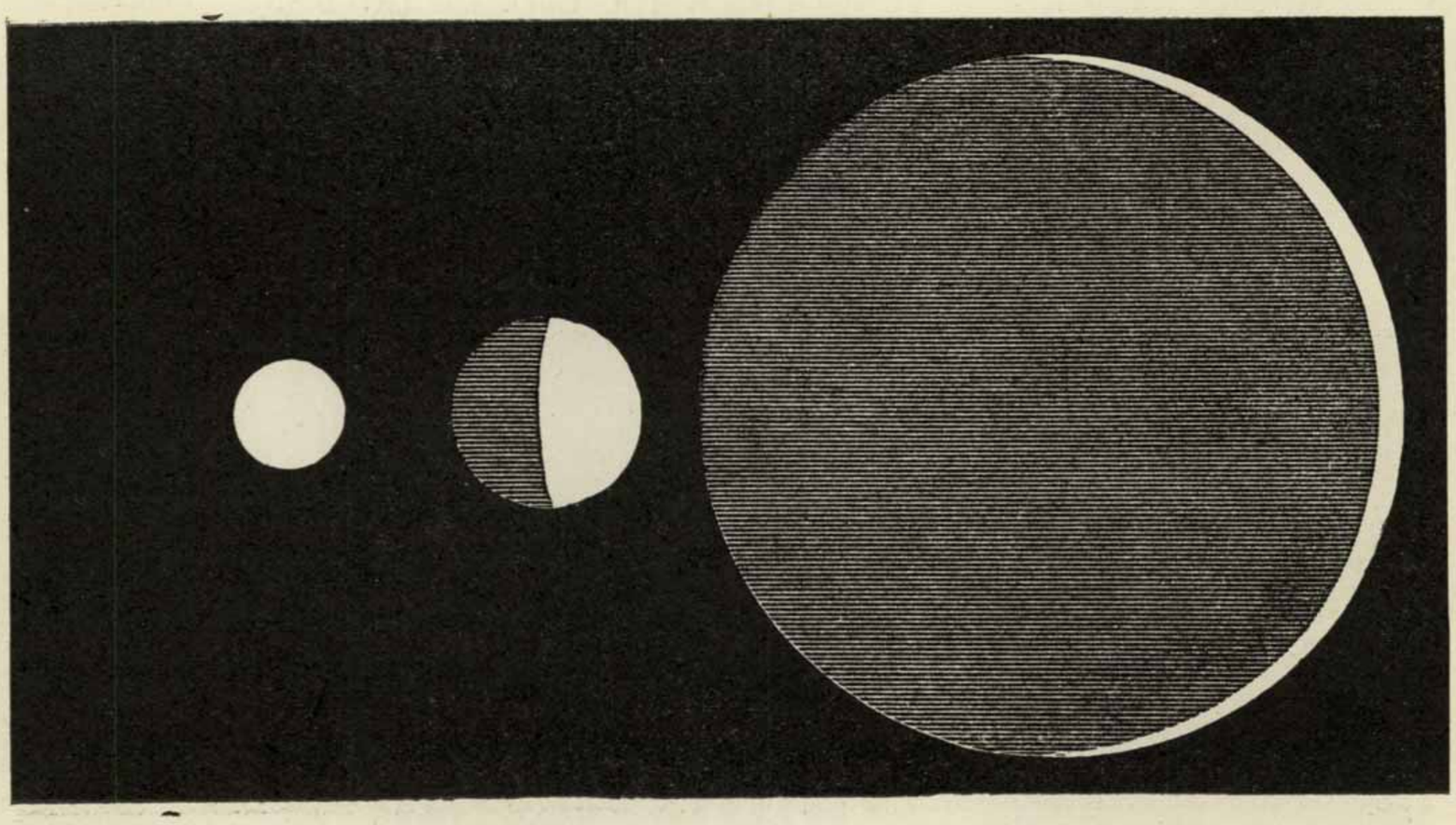
Осенью того же года Галилей могъ продолжать свои небесныя открытія на своемъ новомъ покойномъ мѣстѣ.

Теперь онъ наблюдалъ, что Венера не всегда представляется правильнымъ кружкомъ, но совершенно такъ же, какъ луна, показываетъ фазы соотвѣтственно своему положенію относительно солнца и земли.

То же явленіе обнаружилось у Марса. Но такъ какъ послѣдній дальше отъ солнца, чѣмъ земля, то у него обращенная къ намъ сторона всегда освѣщена больше, чѣмъ на половину, а неосвѣщенной бываетъ только незначительная ея часть.

Далѣе Галилей замѣтилъ нѣчто необыкновенное у Сатурна. Ему казалось, будто „стараго владыку поддерживаютъ, никогда не покидая его, два спутника, по одному съ каждой стороны“. При дальнѣйшемъ наблюденіи оказалось, что эти спутники исчезли, и Галилею такъ и не удалось разрѣшить эту загадку.

Рис. 153



Венера позади, рядомъ и (справа) передъ солнцемъ.

Наконецъ, тою же осенью Галилей открылъ еще, что на поверхности солнца есть пятна (рис. 154), и, хотя они съ теченіемъ времени измѣнялись и, наконецъ, исчезали, а другія появлялись, Галилей успѣлъ извлечь изъ ихъ движеній заключеніе, что солнце вращается около своей оси.

144. Прошло почти 70 лѣтъ съ тѣхъ поръ, какъ Коперникъ опубликовалъ свою систему. Лишь немногіе знали ее, лишь немногіе умѣли оцѣнить ея значеніе. Она имѣла, конечно, и свои слабыя стороны (§ 71), но въ упомянутыхъ открытіяхъ она нашла себѣ много подтвержденій. Совершенно такъ же, какъ земля, планеты освѣщены съ одной только стороны и это обстоятельство дѣлаетъ вѣроятнымъ родство между ними и землей. Какъ земля, нѣкоторыя планеты имѣютъ спутниковъ. Значитъ, и здѣсь есть сходство. И даже само солнце принадлежало къ той же семьѣ, хотя и являлось членомъ высшаго порядка: и оно вращалось около своей оси.

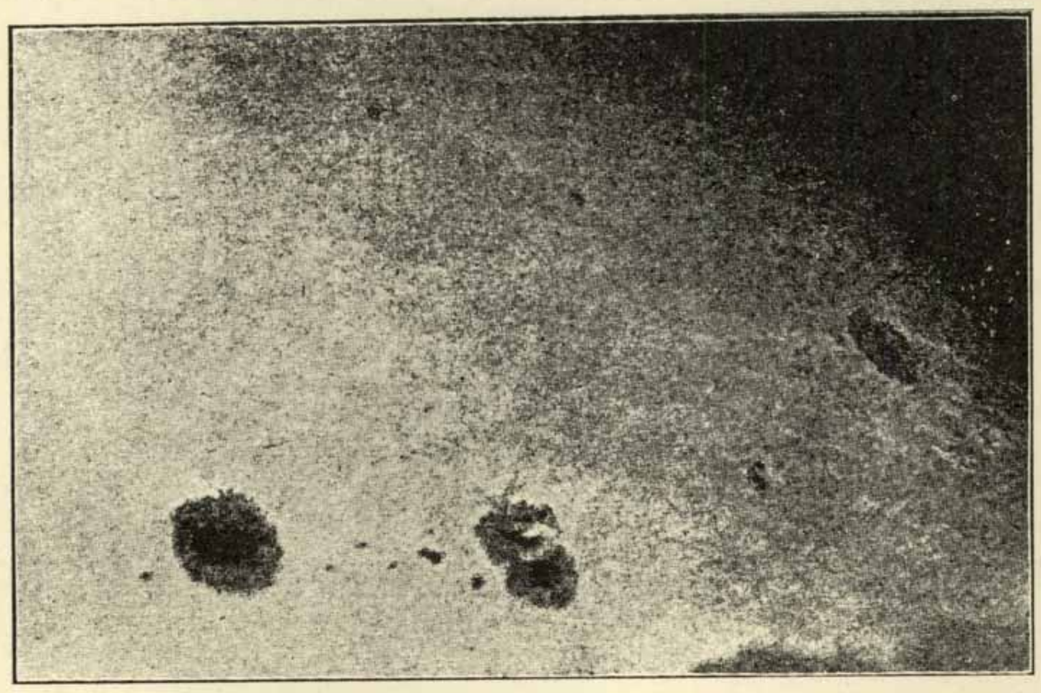
Галилей не упустилъ случая обратить на это вниманіе; но прошло немного времени и духовенствомъ, предъ лицомъ этихъ открытій, овладѣло большое безпокойство. Мнѣнія, однако, раздѣлились. Члены орденовъ Августинцевъ и Кармелитовъ защищали Галилея и придерживались мнѣнія, что его открытія не стоятъ въ про-

http://mathesis.ru

тиворѣчіи съ Библіей. Кардиналъ Берберини (позднѣе папа Урбанъ VIII) даже воспѣвалъ Медичейскія звѣзды и солнечныя пятна.

Тѣмъ рѣзче отнеслись къ этому нѣкоторые другіе, именно, нѣсколько, доминиканскихъ монаховъ, которые объявили ученіе Коперника еретическимъ, а Галилея, слѣдовательно, какъ приверженца этого ученія, еретикомъ. По ихъ мнѣнію его открытія противорѣчили Библіи и Аристотелю, который учитъ, что солнце есть чи-

Рис. 154



Часть солнца съ солнечными пятнами.

стѣйшій огонь, такъ что на немъ не можетъ быть пятенъ. Когда Галилей предложилъ имъ самимъ посмотрѣть на солнце въ зрительную трубу, они отказались прикасаться къ такому дьявольскому прибору. Въ одномъ письмѣ къ Кеплеру, который въ то же время давалъ подтвержденія правильности системы Коперника совершенно инымъ путемъ, Галилей жалуется: „Что ты скажешь о первыхъ ученыхъ здѣшняго факультета, которымъ я самъ предлагалъ тысячу разъ показать мои работы и которые съ упрямой лѣнью нажравшейся змѣи не хотятъ видѣть ни планетъ, ни луны, ни зрительной трубы. Эти люди думаютъ, что наука лишь та или другая книга, какъ Энеида или Одиссея, и что истины нужно искать не во вселенной и не въ природѣ, а (говоря ихъ собственными словами) въ сравненіи текстовъ“.

Здѣсь Галилей кладетъ палецъ прямо на язву, которая требовала серьезной операціи. До Галилея истины искали сравненіемъ Библіи съ Аристотелемъ и т. д. и чистымъ умозрѣніемъ. Галилей разбиваетъ эти оковы и ищетъ истинъ природы исключительно въ томъ, что обращается къ самой природѣ.

Такъ какъ яростныя нападки Доминиканцевъ не прекращались и такъ какъ они въ то же время старались привлечь на свою сторону папу Павла V, то Галилей счелъ благоразумнымъ пріѣхать въ Римъ (1615). Здѣсь у него были добрые друзья, а за нѣсколько лѣтъ передъ тѣмъ онъ сдѣлался членомъ академіи, основанной княземъ Чечи, гдѣ показывалъ микроскопъ своей работы. Самъ папа благосклонно выслушивалъ доклады Галилея о томъ, что не подобаетъ отрицать то, что видишь собственными глазами. Но папа долженъ былъ что-нибудь предпринять и потому передалъ дѣло на разсмотрѣніе особой коммиссіи. Мнѣніе коммиссіи было представлено въ 1616 году и оказалось очень неблагопріятнымъ для Галилея. Всѣ книги, которыя утверждали, что движеніе земли не противорѣчитъ Библіи, запрещались. Даже

http://mathesis.ru

въ книгѣ Коперника, которую терпѣли цѣлыхъ 70 лѣтъ, должны были быть вычеркнуты всѣ тѣ мѣста, въ которыхъ ученіе о движеніи земли сопоставлялось съ различными мѣстами Библіи.

Это побудило Галилея къ усиленной дѣятельности, а такъ какъ и его противники не уменьшали своихъ усилій, то папа увидѣлъ себя вынужденнымъ передать дѣло на разсмотрѣніе святой инквизиціи. Ея приговоръ рѣшилъ, что ученіе Галилея о движеніи земли ложно и еретично.

Если припомнить власть инквизиціи и тѣ страшныя кары, которыя она налагала, то нельзя удивляться тому, что Галилей удалился въ Арчетри близъ Флоренціи, чтобы здѣсь спокойно жить и работать.

145. На старости лѣтъ Галилей сталъ чувствовать потребность повѣдать міру о тѣхъ вопросахъ, надъ разъясненіемъ которыхъ работалъ всю свою жизнь. Онъ написалъ бесѣду трехъ людей Сагредо, Сальвіати (такъ звали одного изъ его венеціанскихъ друзей) и Симпличіо. Первые двое являются приверженцами Коперниковой системы міра, послѣдній же стоитъ за систему Птолемея. Въ бесѣдѣ спокойнымъ тономъ излагаются доводы за ту и за другую системы, но въ ней легко видѣть, что доводы въ пользу системы Коперника обладаютъ гораздо бо́льшимъ вѣсомъ. Въ 1630 г. Галилей отправился въ Римъ и здѣсь, при помощи одного друга, состоявшаго секретаремъ при папѣ, ему удалось получить разрѣшеніе цензуры на печатаніе этой книги.

Эта книга вышла въ свѣтъ во Флоренціи въ 1632 г. и теперь гроза разразилась съ удвоенной яростью. Въ числѣ ярыхъ противниковъ Галилея находился одинъ пизанскій профессоръ по имени Кіарамонти, который написалъ формальную жалобу, снабдивъ ее обращеніемъ къ кардиналу Берберини, племяннику папы. Эти дѣйствія не замедлили оказать свое вліяніе. Противникамъ Галилея удалось увѣрить папу Урбана VIII, что въ добродушномъ, но невѣжественномъ Симпличіо представленъ самъ папа. Дѣло было передано на разсмотрѣніе коммиссіи, составленной изъ враговъ Галилея, въ числѣ которыхъ былъ также Кіарамонти. Ея приговоръ гласилъ, что Галилей нарушилъ запретъ, наложенный на него въ 1616 г.[1]), и долженъ предстать предъ святой инквизиціей.

Галилей былъ вызванъ въ Римъ. За него вступился великій герцогъ Фердинандъ II, указывая на его старость, но безуспѣшно. Галилей долженъ былъ ѣхать въ Римъ, гдѣ былъ помѣщенъ подъ надзоръ, сначала легкій, затѣмъ болѣе строгій; спустя полгода, въ теченіе котораго онъ нѣсколько разъ допрашивался, ему былъ объявленъ приговоръ. Въ присутствіи инквизиторовъ, въ доминиканской церкви Галилей долженъ былъ подъ присягой отречься отъ движенія земли. — Слова, которыя Галилей будто бы пробормоталъ тутъ же: „и всетаки она движется“, являются выдумкой позднѣйшаго времени. Кромѣ того, Галилей былъ присужденъ къ тюремному заключенію и въ теченіе трехъ лѣтъ долженъ былъ еженедѣльно читать семь покаянныхъ псалмовъ.

---

[1]) Подлинность протокола 1616 г., въ которомъ было сказано, что Галилей обязуется отказаться отъ Коперникова ученія и не защищать его ни устно, ни письменно, въ послѣднее время подвергалась большимъ сомнѣніямъ. *Прим. пер.*

http://mathesis.ru

Тюремное наказаніе было, однако, вскорѣ смягчено. Галилей снова получилъ разрѣшеніе жить въ Арчетри, но ему было строго воспрещено принимать посѣтителей. Несмотря на увеличивающуюся слабость, онъ усердно занимался научными работами. Въ 1634 г. Галилей издалъ свои „Бесѣды объ одной новой наукѣ“, въ кото-

Рис. 155



Галилей сообщаетъ свои открытія Торричелли (сидящему) и Вивіани.
(Съ картины въ Tribuna di Galilei).

рыхъ онъ описываетъ свои основныя открытія въ области ученія о движеніи. Когда Галилей подъ конецъ ослѣпъ и оглохъ, два молодыхъ ученыхъ Торричелли и Вивіани, имѣвшіе доступъ къ нему, записывали его слова. На ихъ рукахъ Галилей и скончался въ 1642 г. Его прахъ покоится въ церкви Санта Кроче (Св. Креста) во Флоренціи между останками другихъ великихъ людей Тосканы.

http://mathesis.ru

Движеніе

146. Открытіе простѣйшихъ законовъ движенія было сопряжено съ гораздо бо̀льшими трудностями, чѣмъ открытіе законовъ равновѣсія.

Аристотель различалъ насильственныя и естественныя движенія. Послѣднія, по его мнѣнію, должны быть круговыми (движенія на небѣ) или въ крайнемъ случаѣ прямолинейными, направленными либо къ центру земли, либо въ обратную сторону, сообразно чему тѣла раздѣляются на тяжелыя и легкія.

Такого рода классификація на первый взглядъ можетъ показаться систематической и можетъ производить впечатлѣніе учености, на самомъ же дѣлѣ она не имѣетъ никакого научнаго значенія. Характеризуя природу движенія болѣе подробно, Аристотель говоритъ, что для того, чтобы тѣло двигалось равномѣрно, необходимо непрерывное дѣйствіе на него силъ, толкающихъ его впередъ, потому что въ противномъ случаѣ тѣло расходуетъ свою движущую силу и приходитъ въ состояніе покоя. Подтвержденіемъ этого воззрѣнія могутъ служить, на первый взглядъ, многія явленія повседневной жизни. Тѣмъ труднѣе было Галилею доказать, что справедливо какъ разъ обратное положеніе, а именно, что каждое тѣло сохраняетъ свое состояніе движенія (состояніе покоя, если оно находится въ покоѣ, состояніе движенія по неизмѣнному направленію съ постоянной скоростью, если оно движется), если на него не воздѣйствуетъ нѣчто такое, что измѣняетъ это состояніе, и это нѣчто, могущее измѣнять состояніе движенія тѣла, называется силой. Это — законъ инерціи или косности.

То обстоятельство, что тѣло, находящееся въ покоѣ, продолжаетъ оставаться неподвижнымъ, врядъ ли можетъ подлежать сомнѣнію; но то, что оно сохраняетъ также однажды принятое состояніе движенія, повидимому, противорѣчитъ повседневному наблюденію. Галилей показалъ, что причину остановки катящагося шара слѣдуетъ искать въ извѣстныхъ силахъ, обусловленныхъ частичками песка, неровностями сопротивленіемъ воздуха и т. д. Чѣмъ полнѣе исключаются эти постороннія обстоятельства, тѣмъ яснѣе проявляется законъ инерціи. Такъ, напримѣръ, очень гладкій шаръ можетъ катиться по жолобу, обитому пергаментомъ, весьма долго.

147. Галилей открылъ, далѣе, что тѣло сохраняетъ свое движеніе и въ томъ случаѣ, если на него начинаетъ дѣйствовать новая сила, сообщающая тѣлу движеніе въ какомъ бы то ни было направленіи. Въ этомъ случаѣ тѣло одновременно имѣетъ и старое и новое движеніе, т. е. приходитъ какъ разъ въ точку, въ которую оно пришло бы, если бы сначала имѣло только первое, а затѣмъ только второе движеніе.

То обстоятельство, что катящійся по землѣ шаръ останавливается, можно, наконецъ, толковать такимъ образомъ, что онъ сохраняетъ свое первоначальное движеніе, зерна же песку и неровности сообщаютъ ему своими ударами такое же движеніе, но въ обратномъ направленіи.

Примѣры. Акробатъ, который, стоя, ѣдетъ на лошади и желаетъ перепрыгнуть черезъ барьеръ, долженъ прыгать прямо вверхъ, чтобы попасть на прежнее мѣсто лошади.

Предметъ, падающій съ мачты движущагося судна, попадаетъ на мѣсто, расположенное какъ разъ по отвѣсной линіи подъ той точкой, изъ которой онъ падалъ.

http://mathesis.ru

Въ то время, какъ предметъ падалъ, судно нѣсколько подвинулось впередъ, но и самый предметъ, обладая скоростью судна, тоже подался впередъ на такое же разстояніе. Этимъ опровергается возраженіе, которое не разъ выставлялось противъ вращенія земли, именно, что человѣкъ, прыгающій вертикально вверхъ, долженъ стать на землю нѣсколько западнѣе того мѣста, съ котораго онъ подпрыгнулъ. — Равнымъ образомъ, теряетъ силу возраженіе Тихо Браге, что камень, падающій съ башни, долженъ ложиться немного къ западу отъ башни, чего, однако, Тихо Браге не могъ увидѣть.

Человѣкъ, стоящій въ вагонѣ, который сразу приходитъ въ движеніе или сразу останавливается, въ первомъ случаѣ падаетъ назадъ, въ послѣднемъ — впередъ.

Желая во время путешествія въ вагонѣ бросить вверхъ мячъ и поймать его, мы должны бросать его вертикально вверхъ, потому что онъ уже обладаетъ скоростью вагона и сохраняетъ ее во время своего полета вверхъ и внизъ.

148. Аристотель зналъ, конечно, что падающее тѣло двигается постепенно все быстрѣе и быстрѣе; однако, онъ думалъ, что тяжесть сама по себѣ можетъ поддержать лишь равномѣрное движеніе тѣла. Увеличеніе скорости, по его мнѣнію, слѣдуетъ приписать чему-либо другому, и именно тому, что воздухъ низвергается вслѣдъ за падающимъ тѣломъ и толкаетъ его внизъ.

Галилей и въ этомъ случаѣ пришелъ къ прямо противоположному выводу. Именно, разъ тѣло достигло извѣстной скорости по направленію внизъ, то уже не требуется рѣшительно никакой силы, чтобы поддерживать эту скорость, и тяжесть, дѣйствуя непрерывно, должна поэтому все время увеличивать однажды пріобрѣтенную тѣломъ скорость. Что же касается воздуха, то онъ не ускоряетъ паденія, а, наоборотъ, замедляетъ его, благодаря сопротивленію, которое онъ оказываетъ.

Теперь является вопросъ, дѣйствуетъ ли тяжесть на падающее тѣло съ тою же самою силой, какъ и на покоящееся. Этотъ вопросъ можетъ быть разрѣшенъ только посредствомъ опыта. Однако, производить опыты надъ быстро движущимися тѣлами не легко. Поэтому Галилей сначала разбираетъ вопросъ математически. Въ основу своихъ вычисленій онъ кладетъ предположеніе, что тяжесть въ каждую секунду сообщаетъ тѣлу одно и то же измѣненіе скорости, независимо отъ того, въ какомъ состояніи движенія находится тѣло; а затѣмъ онъ изслѣдуетъ, согласуются ли дѣйствительныя движенія съ движеніями, вычисленными въ этомъ предположеніи.

149. Представимъ себѣ, что въ опредѣленный моментъ времени тѣло начинаетъ свободно падать, и пусть тяжесть въ теченіе секунды сообщаетъ ему извѣстную скорость, приблизительно 32 фута. Еслибы по истеченіи этой секунды дѣйствіе тяжести на тѣло прекратилось, то въ каждую послѣдующую секунду оно проходило бы по 32 фута.

Но впродолженіе второй секунды, по предположенію Галилея, тяжесть дѣйствуетъ на тѣло съ тою же силой, какъ и въ первую секунду, и потому увеличиваетъ скорость тѣла съ 32 футовъ (въ началѣ второй секунды) до 64 футовъ (въ концѣ второй секунды). Въ теченіе третьей секунды тяжесть должна увеличить скорость тѣла съ 64 футовъ до 96 футовъ и т. д. Итакъ, скорость тѣла была бы такова:

въ началѣ движенія	0 фут.,
въ концѣ первой секунды . . .	32 „

http://mathesis.ru

въ концѣ второй секунды . . . 64 фут.,
„ „ третьей „ . . . 96 „
„ „ четвертой „ . . . 128 „

Въ каждый моментъ скорость равна 32 футамъ, повтореннымъ столько разъ, сколько секундъ тѣло падало[1]).

Что же касается вопроса, гдѣ находится тѣло въ различные моменты или какъ далеко оно ушло отъ исходной точки, то это можно опредѣлить на основаніи слѣдующихъ соображеній. Въ первую секунду тѣло имѣло всевозможныя скорости между 0 и 32 футами, и, конечно, скорость возрастала отъ начальнаго значенія 0 до конечной величины 32 равномѣрно. Можно принять, слѣдовательно, что тѣло въ теченіе этой секунды двигалось со средней скоростью въ 16 футовъ. Въ такомъ случаѣ оно прошло въ эту секунду 16 футовъ. Для двухъ первыхъ секундъ средняя скорость равна 32 футамъ. Тѣло, движущееся съ такой скоростью, въ теченіе двухъ секундъ проходитъ 64 фута. Въ три секунды скорость возрастаетъ отъ 0 до 96 футовъ, средняя скорость есть, слѣдовательно, 48 футовъ, а путь, пройденный тѣломъ съ такою скоростью за три секунды, равенъ $48 \times 3 = 144$ фута. Итакъ, тѣло падаетъ

въ 1 секунду на 16 фут. или на $16 \times 1 \times 1$ фут.,
„ 2 секунды „ 64 „ „ „ $16 \times 2 \times 2$ „
„ 3 „ „ 144 „ „ „ $16 \times 3 \times 3$ „
„ 4 „ „ 256 „ „ „ $16 \times 4 \times 4$ „

и т. д.

Такъ какъ средняя скорость падающаго тѣла вдвое меньше, чѣмъ конечная скорость, т. е. равна 16 футамъ, умноженнымъ на число секундъ, то пройденный путь равенъ 16 футамъ, умноженнымъ на вторую степень числа секундъ[2]).

На рис. 156 слѣва на сплошной линіи указаны пути, проходимые въ каждую отдѣльную секунду, а на пунктирной линіи — скорости въ концѣ этихъ же секундъ, т. е. пути, которые были бы пройдены тѣломъ въ секунду, еслибы оно неизмѣнно сохраняло скорость, пріобрѣтенную въ концѣ предыдущей секунды.

Примѣръ 1. Камень, падая въ колодецъ, достигаетъ дна въ три секунды. Какова глубина колодца и съ какой скоростью камень достигаетъ земли?

Примѣръ 2. Шарикъ, падающій съ аэростата, достигаетъ земли, имѣя скорость 245 *м*. Съ какой высоты и сколько времени онъ падалъ ($g = 9{\cdot}8$ *м*)?

Примѣръ 3. Сколько времени нужно тѣлу, чтобы упасть съ высоты въ 160 *м* (высота башенъ Кёльнскаго собора)?

150. Такъ какъ свободно падающее тѣло уже въ небольшіе промежутки времени достигаетъ сравнительно большихъ скоростей и проходитъ значительные пути, то даже на наклонной Пизанской башнѣ было не легко провѣрить найденные законы.

---

[1]) Если обозначимъ скорость въ концѣ первой секунды черезъ g, то скорость по истеченіи t секундъ будетъ $v = gt$.

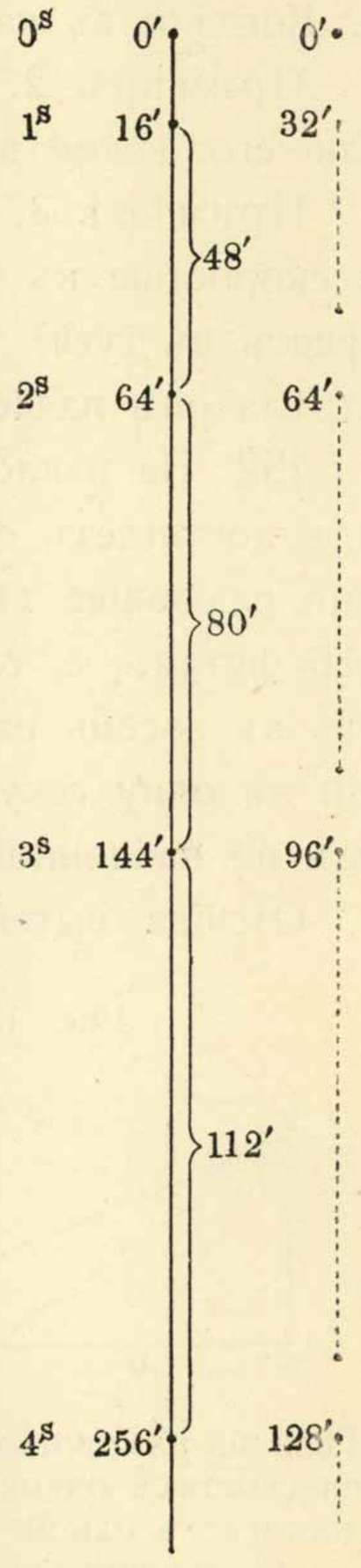
[2]) Если s означаетъ высоту паденія за t секундъ, то $s = {}^1/_2\, g t^2$. Такимъ образомъ, мы имѣемъ два уравненія: $v = gt$ и $s = {}^1/_2\, g t^2$ съ тремя величинами v, t и s. (g всегда равно 32, точнѣе $31{}^5/_8$ футовъ или 9·8 *м*). Значитъ, если даны двѣ изъ этихъ трехъ величинъ, то третью можно вычислить Если исключить изъ обоихъ уравненій t, то получается уравненіе $v^2 = 2gs$.

http://mathesis.ru

Чтобы облегчить такую провѣрку, нужно было такъ или иначе создать силу, которая бы дѣйствовала на свободно падающее тѣло слабѣе, чѣмъ сила тяжести. Галилей достигъ этого, производя опыты надъ паденіемъ тѣлъ по наклонной плоскости; при этомъ онъ по возможности устранялъ вредныя вліянія (сопротивленіе тренія) тѣмъ, что пускалъ шаръ изъ слоновой кости по жолобу, выложенному пергаментомъ (см. рис. 148).

Если что-нибудь препятствуетъ шару падать по наклонной плоскости, то, какъ нашелъ Стевинъ (§ 136), шаръ производитъ на такое препятствіе давленіе въ направленіи наклонной плоскости, которое такъ относится къ вѣсу шара, какъ высота наклонной плоскости къ ея длинѣ. Если, напримѣръ, высота = 1, а длина = 8, то шаръ будетъ давить на препятствіе съ силой равной одной восьмой его вѣса; иными словами, на шаръ дѣйствуетъ сила, равная восьмой части силы тяжести. Галилей и полагалъ, что такая уменьшенная сила должна сообщать шару соотвѣтственно меньшую скорость въ каждую секунду, т. е. въ упомянутомъ примѣрѣ восьмую часть отъ 32 или 4 фута въ концѣ первой секунды, 8 футовъ въ концѣ второй и т. д., по тому же закону, какъ и въ случаѣ свободнаго паденія, съ тою только разницей, что основная скорость здѣсь не 32 фута, а 4[1]). Путь, проходимый тѣломъ въ извѣстное время по наклонной плоскости, такъ же, какъ и въ случаѣ свободнаго паденія, равенъ тому пути, который былъ бы пройденъ за то же самое время, еслибы тѣло двигалось со средней скоростью, т. е. со скоростью, равною половинѣ конечной скорости. Отсюда для наклонной плоскости получается законъ, соотвѣтствующій второму закону свободнаго паденія[2]).

Рис. 156



Свободное паденіе.

Такого рода опытами, при которыхъ легко было наблюдать и измѣрять движеніе тѣла, Галилей доказалъ справедливость предположенія, послужившаго исходной точкой его разсужденій.

151. Если тѣло бросаютъ вверхъ съ начальной скоростью, напримѣръ, въ 128 футовъ, то сила тяжести сообщаетъ ему въ каждую секунду скорость въ 32 фута, направленную внизъ; благодаря этому скорость тѣла, наконецъ, уменьшается до нуля. Скорость тѣла по истеченіи

1 секунды будетъ 128 — 32 = 96 фут.
2 секундъ „ 128 — 2×32 = 64 „
3 „ „ 128 — 3×32 = 32 „
4 „ „ 128 — 4×32 = 0 „

---

[1]) Для свободнаго паденія $v = gt$, для паденія по наклонной плоскости, уклонъ которой опредѣляется отношеніемъ 1 : 8, $v = {}^1/_8\, g\, t$.

[2]) При свободномъ паденіи $s = {}^1/_2\, g\, t^2$, при паденіи по наклонной плоскости съ уклономъ 1 : 8 величина $s = {}^1/_2 . {}^1/_8\, g t^2$.

http://mathesis.ru

Такимъ образомъ, при поднятіи скорость тѣла убываетъ по тому же закону, по какому при паденіи она возрастаетъ. Время, необходимое тѣлу для движенія вверхъ, равно тому времени, въ теченіе котораго оно падаетъ съ достигнутой высоты, и скорость, съ которою оно достигаетъ земли, равна той начальной скорости, съ которою тѣло было брошено вверхъ. При паденіи тѣло проходитъ каждую точку своего пути съ тою же скоростью, какъ и при движеніи вверхъ, но только въ обратномъ направленіи.

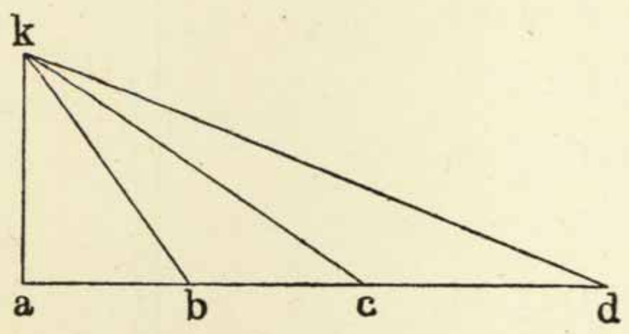
Примѣръ 1. Ружейная пуля пущена вертикально вверхъ съ начальной скоростью въ 367·5 *м*. Сколько времени она летитъ вверхъ и какой высоты достигаетъ? Когда и съ какою скоростью она возвращается назадъ?

Примѣръ 2. Я бросаю мячъ вертикально вверхъ и черезъ 4 секунды снова ловлю его; какой высоты достигъ мячъ и какова его конечная скорость?

Примѣръ 3. Дикій гусь летитъ прямо надо мною. Ружейная пуля, съ начальной скоростью въ 480 *м*, настигаетъ его въ $^1/_4$ секунды. Съ какой скоростью пуля ударяетъ въ гуся? На какой вышинѣ гусь летѣлъ и сколько времени спустя послѣ выстрѣла онъ падаетъ на землю? Сопротивленіе воздуха не принимать въ разсчетъ.

152 На наклонной плоскости съ уклономъ 1 : 8 шаръ (§ 150) въ восемь секундъ достигаетъ скорости $4 \times 8 = 32$ фута, т. е. той самой скорости, которой свободно падающее тѣло достигаетъ въ одну секунду. Средняя скорость шара равняется 16 футамъ, а, слѣдовательно, путь, имъ пройденный, $16 \times 8 = 128$ футовъ. Путь этотъ въ восемь разъ длиннѣе, чѣмъ путь, проходимый тѣломъ при свободномъ паденіи въ одну секунду. Но, проходя путь въ восемь разъ бо̀льшій, тѣло опускается внизъ по наклонной плоскости лишь на высоту, равную высотѣ наклонной плоскости. Отсюда вытекаетъ важное положеніе, что тѣло, падающее по наклонной плоскости, достигая ея основанія, обладаетъ тою же скоростью, какую оно имѣло бы, еслибы свободно упало съ высоты, равной высотѣ наклонной плоскости. Это справедливо для какого угодно уклона, такъ какъ уклонъ не вліяетъ на скорость, которой достигаетъ тѣло, падающее съ данной высоты[1]). Шаръ, падающій изъ точки *k* (рис. 157), приходитъ въ точку *b*, въ точку *c* и въ точку *d* съ тою же самой скоростью, какъ и въ точку *a*.

Рис. 157



Тѣло на различныхъ наклонныхъ плоскостяхъ одинаковой высоты достигаетъ одной и той же конечной скорости.

153. То же самое справедливо и въ томъ случаѣ, когда тѣло скатывается по нѣсколькимъ наклоннымъ плоскостямъ послѣдовательно. Если, напримѣръ, шаръ скатывается по наклоннымъ плоскостямъ *k m* и *m n* (рис. 158), то въ точку *n* онъ приходитъ съ тою

---

[1]) Если высота наклонной плоскости есть *a*, а ея длина *b*, то стремленіе падать по такой плоскости выражается черезъ $\frac{a}{b} g$. Если, далѣе, скорости, которыхъ достигаетъ тѣло при свободномъ паденіи съ высоты *a* и при скатываніи по наклонной плоскости, обозначить соотвѣтственно черезъ *v* и *V*, то (§ 149):

$$2ga = v^2 \text{ и } 2\,\frac{a}{b}\,gb = V^2 \text{ или } 2ga = V^2, \text{ слѣдовательно, } v = V.$$

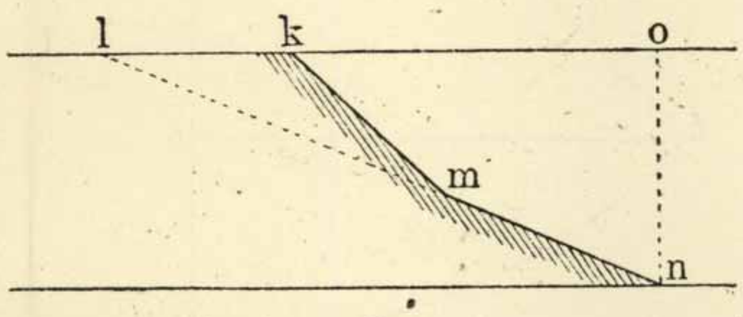
http://mathesis.ru

же скоростью, съ которою пришелъ бы, еслибы скатился по наклонной плоскости ln или же упалъ съ высоты on.

То, что справедливо для пути kmn, имѣющаго одинъ изломъ, справедливо также для пути съ нѣсколькими изломами, а также для пути съ безконечно большимъ количествомъ изломовъ, т. е. для криволинейнаго пути. Итакъ, тѣло, двигаясь внизъ подъ дѣйствіемъ силы тяжести, пріобрѣтаетъ скорость, которая совершенно не зависитъ отъ пути тѣла и обусловливается только разностью высотъ начальной и конечной точки пройденнаго пути. Если путь тѣла снова подымается, то тѣло мало по малу теряетъ свою скорость, и когда оно снова достигаетъ первоначальной высоты, его скорость дѣлается равной нулю, независимо отъ того, по какому пути оно достигло этой высоты.

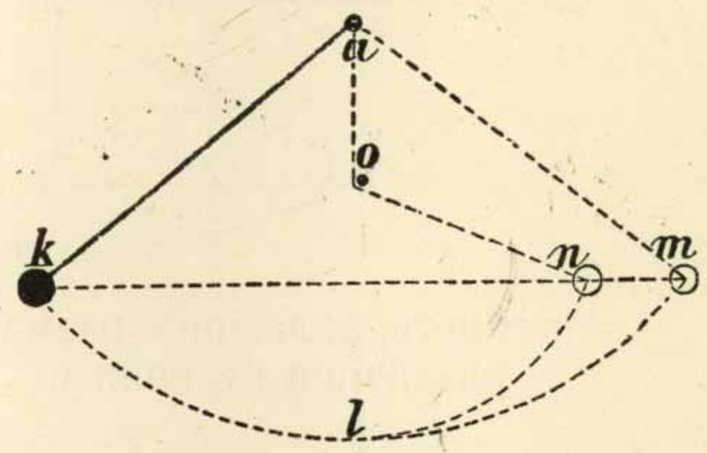
Галилей нашелъ подтвержденіе и этому ряду умозаключеній, именно въ слѣдующемъ опытѣ. Шаръ k (рис. 159) съ помощью бичевки подвѣшенъ къ гвоздю a. Если пустить шаръ изъ точки k, то онъ опишетъ дугу klm, и притомъ такъ, что его скорость въ наиболѣе низкой точкѣ l пути будетъ наибольшей, а въ точкѣ m,

Рис. 158



Паденіе по двумъ наклоннымъ плоскостямъ.

Рис 159



Путь, описываемый качающимся шаромъ.

лежащей на одной высотѣ съ k, снова будетъ равной нулю. Затѣмъ шаръ начинаетъ качаться взадъ и впередъ между точками k и m, пока внѣшнія причины (сопротивленіе воздуха) мало по малу не заставятъ его остановиться.

Если укрѣпить теперь другой гвоздь въ точкѣ o и снова пустить шаръ изъ точки k, то онъ опишетъ путь kln. Точка n лежитъ на одной высотѣ съ точками k и m. Затѣмъ шаръ пробѣгаетъ тотъ же путь въ обратномъ направленіи и приходитъ въ точку k. Высота, которой онъ достигаетъ, не зависитъ отъ формы пути.

154. Приборъ, подобный ak (рис. 159), называется маятникомъ. Такимъ маятникомъ была люстра въ Пизанскомъ соборѣ, обратившая на себя вниманіе молодого Галилея. Онъ изучилъ законы движенія маятника болѣе подробно и нашелъ, какъ уже было упомянуто выше, что время колебанія маятника не зависитъ отъ его вѣса. Скорость паденія для всѣхъ тѣлъ одна и та же.

155. Далѣе, времена колебаній не зависятъ отъ величины размаховъ. Въ этомъ легко убѣдиться, если подвѣсить два шара на шнурахъ одинаковой длины, удалить одинъ изъ нихъ отъ положенія равновѣсія слегка, другой значительно и затѣмъ пустить оба одновременно.

Если половина одного размаха km (рис. 160) вдвое больше половины другого lm, то высота pm по отвѣсу приблизительно вчетверо больше высоты rm. Время, которое тѣло употребило бы на то, чтобы упасть на разстояніе pm, должно быть, слѣдовательно, вдвое больше времени, въ теченіе котораго тѣло пройдетъ разстояніе

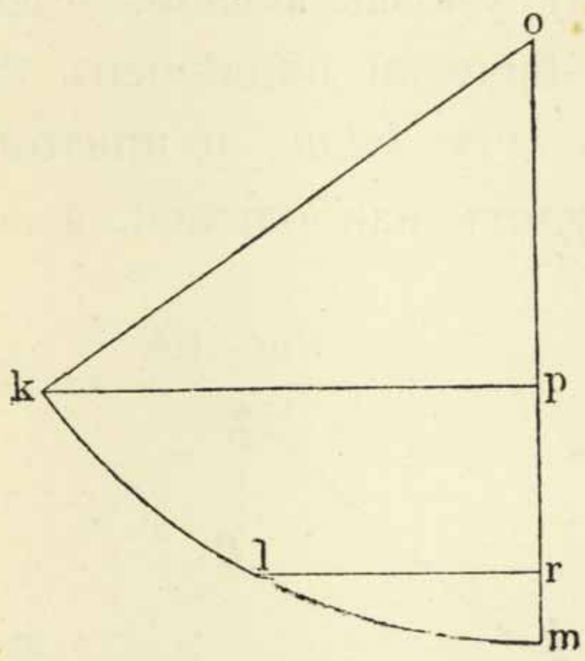
http://mathesis.ru

r m (§ 149). Но за вдвое бо́льшій промежутокъ времени тѣло пріобрѣтаетъ и вдвое бо̀льшую скорость.

Значитъ, если тѣло приходитъ въ точку *m* изъ *p* или изъ *k*, то оно обладаетъ въ этой точкѣ вдвое бо̀льшей скоростью, чѣмъ въ томъ случаѣ, когда оно приходитъ туда изъ *r* или *l*. Но такъ какъ путь *k m* вдвое больше пути *l m*, то тѣло тратитъ на прохожденіе того или другого пути одно и то же время.

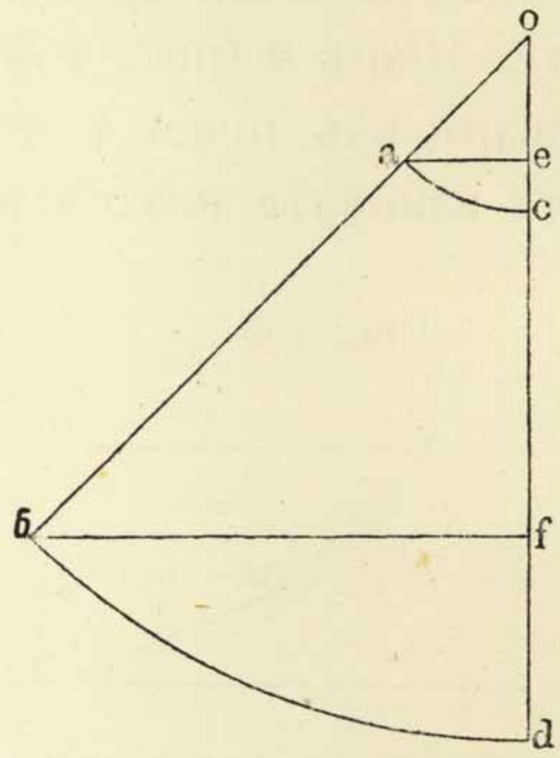
156. Наконецъ, Галилей нашелъ, что маятникъ, время качанія котораго вдвое, втрое, вчетверо и т. д. больше, чѣмъ время качанія другого маятника, долженъ быть вчетверо, въ девять разъ, въ шестнадцать и т. д.

Рис 160



Маятникъ, дѣлающій размахи различной величины.

Рис. 161



Различные маятники, совершающіе одинаковые размахи

разъ длиннѣе, чѣмъ этотъ послѣдній. Въ этомъ легко убѣдиться на опытѣ. Если одинъ маятникъ вчетверо длиннѣе другого, то онъ дѣлаетъ одно колебаніе въ то время, какъ другой дѣлаетъ два.

Если *o b* (рис. 161) вчетверо длиннѣе, чѣмъ *o a*, то и дуга *b d* вчетверо длиннѣе дуги *a c*, высота же паденія *f d* вчетверо болѣе, чѣмъ *e c*. Слѣдовательно, падая съ высоты *f d*, тѣло затрачиваетъ вдвое большее время, чѣмъ при паденіи на величину *e c*. Приходя въ точку *d* изъ *f* или изъ *b*, тѣло обладаетъ, стало быть, вдвое большей скоростью, чѣмъ въ томъ случаѣ, когда оно приходитъ въ точку *c* изъ *e* или изъ *a*. Но если тѣло проходитъ вчетверо большій путь *b d* со скоростью въ два раза большей, то оно затрачиваетъ на это вдвое большій промежутокъ времени.

157. Галилей нашелъ, что маятникъ можетъ служить превосходнымъ измѣрителемъ времени, и употреблялъ его для опредѣленія времени при своихъ опытахъ надъ паденіемъ тѣлъ по наклонной плоскости (§ 150). Галилей предложилъ присоединить тяжелый маятникъ къ системѣ колесъ такимъ образомъ, чтобы маятникъ при каждомъ качаніи подталкивалъ одинъ зубецъ зубчатаго колеса; вращеніе этого колеса и другихъ колесъ, соединенныхъ съ нимъ, должно было автоматически показывать число качаній маятника, а, стало быть, и время. Такого рода часы были построены въ 1649 году его сыномъ, Винченцо Галилеемъ. Конечно, они имѣли большой недостатокъ, а именно, по истеченіи нѣкотораго времени, когда качанія маятника становились слишкомъ малыми, часы останавливались.

http://mathesis.ru

Часы

158. Часы были значительно усовершенствованы Христіаномъ Гюйгенсомъ. Улучшеніе, введенное имъ, заключалось въ томъ, что онъ использовалъ маятникъ не какъ движущую силу, а только какъ регуляторъ, часовой же механизмъ у него приводился въ движеніе посредствомъ груза. Прежде чѣмъ ближе познакомиться съ работами Гюйгенса, бросимъ взглядъ на болѣе раннія попытки разрѣшить задачу измѣренія времени.

Съ развитіемъ общественности измѣреніе времени становится такимъ же необходимымъ, какъ и измѣренія длины и вѣса, но оно значительно труднѣе, потому что, въ противоположность двумъ другимъ родамъ измѣреній, оно не можетъ быть производимо съ помощью какого-либо матеріальнаго мѣрила.

Прежде всего обратили вниманіе на положеніе небесныхъ тѣлъ, въ частности солнца, съ которымъ такъ тѣсно связанъ ходъ повседневной жизни. Всѣ цивилизованные народы древности пользовались солнечными часами (§ 41). Халдеи дѣлили день на 12 часовъ. Въ царствованіе Александра Великаго Борозусъ (жрецъ бога Бела[1]), написавшій на греческомъ языкѣ исторію и астрономію) ввелъ это подраздѣленіе въ Греціи. Дѣленіе часа на 60 минутъ и минуты на 60 секундъ тоже беретъ свое начало отъ халдеевъ.

Другой измѣритель времени, изобрѣтеніе котораго также относится къ доисторическимъ временамъ, представляютъ водяные часы. Они были въ употребленіи у китайцевъ, индусовъ, халдеевъ и египтянъ, а Цезарь нашелъ ихъ также и въ Британіи. Одною изъ древнѣйшихъ формъ былъ воронкообразный сосудъ съ маленькимъ отверстіемъ, изъ котораго медленно вытекала вода. Такъ какъ вода при высокомъ уровнѣ вытекаетъ быстрѣе, чѣмъ при низкомъ, то воронкообразной формой сосуда достигалось то, что поверхность воды въ началѣ и въ концѣ истеченія опускалась приблизительно равномѣрно. Иногда на поверхность воды пускали поплавокъ съ вертикальнымъ, раздѣленнымъ на части стерженькомъ, дѣленія котораго отсчитывались при помощи неподвижнаго указателя.

Индусы пускали на поверхность воды раковину съ маленькимъ отверстіемъ въ днѣ. Вода проникала черезъ это отверстіе и, когда раковина наполнялась водой, она шла ко дну; это значило, что часъ кончился.

Делла Порта даетъ описаніе и изображеніе (рис. 162) водяныхъ часовъ, состоявшихъ изъ наполненнаго водою стекляннаго колокола AB, помѣщеннаго надъ резервуаромъ CD, также наполненнымъ водой; колоколъ наливается водою до верху и затѣмъ воздухъ входитъ сверху черезъ маленькое отверстіе E, а вода опускается и поверхность ея каждый часъ проходитъ черезъ одинъ изъ нацарапанныхъ на стеклѣ круговъ.

Иногда вытекающая вода вращала колесо; это колесо, въ свою очередь, вращало другое колесо, на оси котораго была укрѣплена стрѣлка, показывавшая часы. Мысль соединенія зубчатыхъ колесъ для подобной цѣли принадлежитъ, можетъ быть, Ктезибію, который жилъ за 140 лѣтъ до Р. Х. въ Александріи и былъ учителемъ математика

---

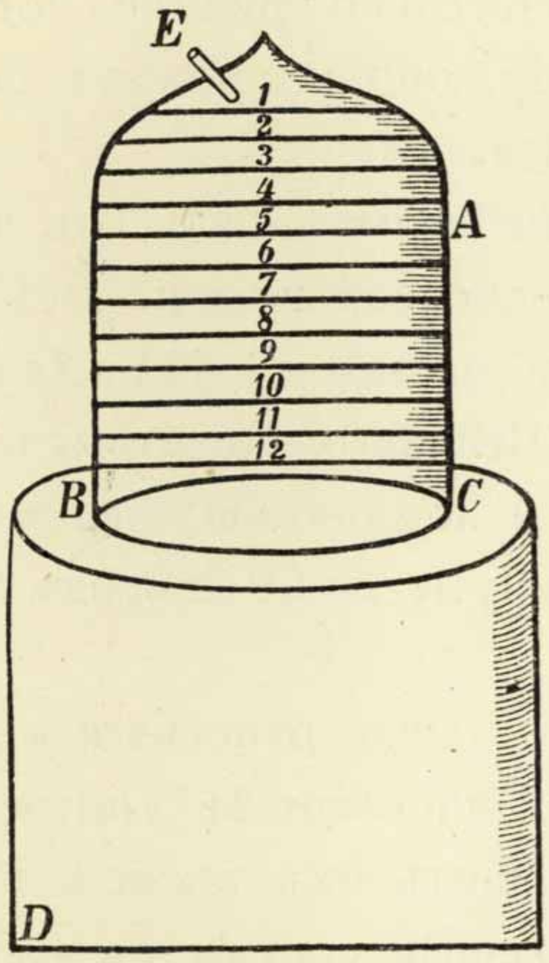
[1]) Одно изъ великихъ ассиро-вавилонскихъ божествъ, аналогичное Ваалу финикіянъ. Упоминается въ Библіи пророкомъ Исаіей, глава 46, ст. 1. *Прим. пер.*

http://mathesis.ru

Герона. Часовые промежутки въ этихъ часахъ отмѣчались паденіемъ камешка въ металлическую чашку. Въ водяныхъ часахъ, подаренныхъ въ IX столѣтіи калифомъ Гарунъ-Аль-Рашидомъ Карлу Великому, для той же цѣли служили мѣдные шары.

Рис. 163 изображаетъ водяные часы, бывшіе въ употребленіи еще въ XVIII столѣтіи. Въ резервуаръ *A* сверху вливается вода, которая вытекаетъ внизу сквозь особое отверстіе для ея стока. Вытекшая вода заставляетъ подниматься плавающій колоколъ, такъ что шнуръ *ABC* (*C* представляетъ собою грузъ) равномѣрно вращаетъ ось со стрѣлкою. Чтобы истеченіе воды происходило постоянно съ одной и

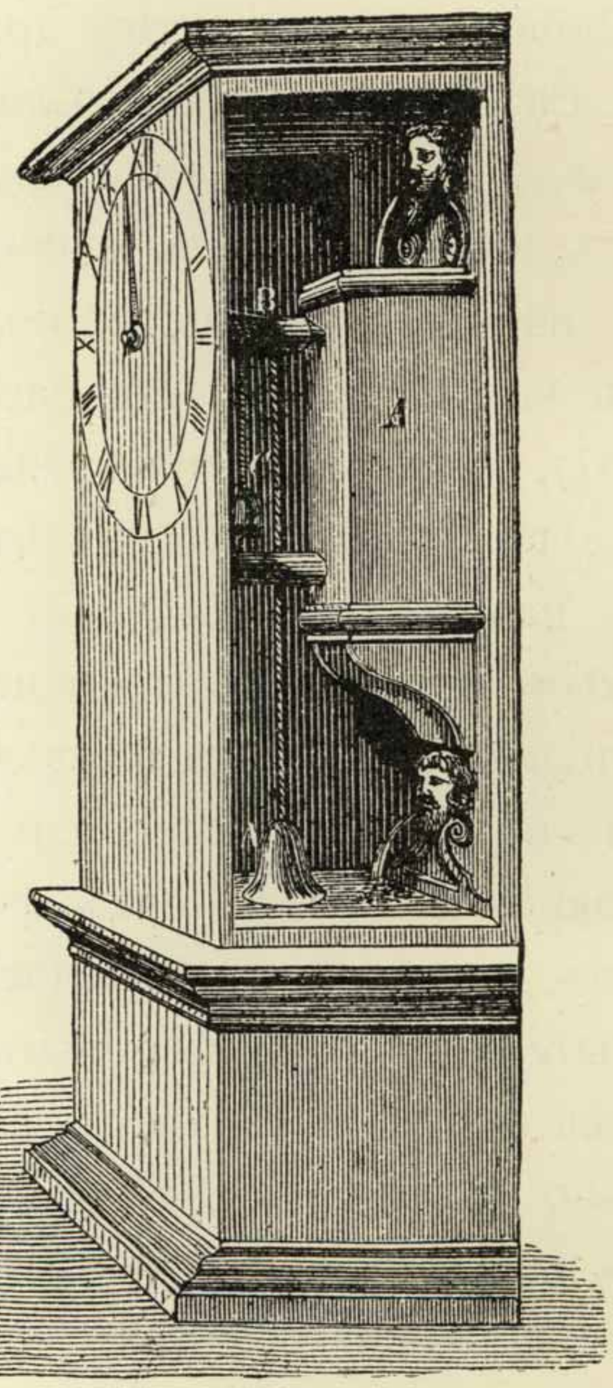
Рис. 162



Водяные часы по Делла Портѣ.

тою же скоростью, вода въ резервуарѣ *A* поддерживается на одномъ и томъ же уровнѣ; это достигается тѣмъ, что вода вливается скорѣе, чѣмъ вытекаетъ, и лишняя вода стекаетъ по трубкѣ, которая на рисункѣ не видна.

Рис. 163



Водяные часы XVIII-го столѣтія.

Производство водяныхъ часовъ процвѣтало въ особенности на Востокѣ, въ Китаѣ, гдѣ еще и теперь водяные часы можно видѣть почти въ каждомъ городѣ, и у арабовъ, которые сдѣлали водяные часы совершенно автоматическими, причемъ эти автоматы показывали не только часы, праздники, положеніе солнца въ зодіакѣ, но производили также въ разные часы различные фокусы. Въ Европу водяные часы проникали медленно. Еще въ XII столѣтіи сакристанъ монастыря въ Клюни долженъ былъ наблюдать звѣзды, чтобы во время будить монаховъ на молитву. Однако, въ средніе вѣка водяные часы проникли уже въ большинство крупныхъ городовъ Италіи, Франціи и Англіи. На площади Св. Марка въ Венеціи въ XVI столѣтіи были водяные часы, на которыхъ ежечасно появлялись мавры и три волхва, привѣтствовавшіе Дѣву Марію и ударявшіе въ колоколъ.

Съ точки зрѣнія мастерства работы, такимъ образомъ, не оставалось желать ничего лучшаго, но въ самомъ существенномъ, въ отношеніи точности опредѣленія времени, не было сдѣлано никакихъ важныхъ успѣховъ.

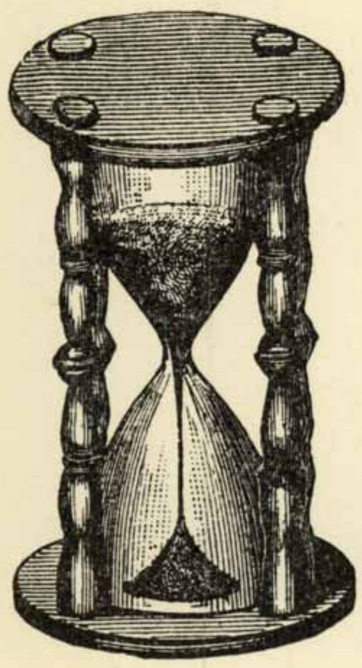
http://matnes15.ru

Вмѣсто воды примѣняли иногда (напримѣръ, Тихо Браге) ртуть или масло.

Можетъ быть, нѣсколько позднѣе появились песочные часы, которые не получили такого большого распространенія. Ихъ знали халдеи, а греки пользовались ими для того, чтобы отмѣрять время для рѣчей. Архимедъ также даетъ описаніе песочныхъ часовъ.

Два сосуда, имѣющихъ форму груши, соединяются другъ съ другомъ узенькимъ горлышкомъ и содержатъ болѣе или менѣе значительное количество песку. Послѣ того, какъ весь песокъ высыплется изъ верхняго сосуда въ нижній, приборъ переворачиваютъ, и песокъ снова въ извѣстное время (минуту, часъ) переходитъ изъ одного сосуда въ другой. Въ средніе вѣка песочные часы были во всеобщемъ употребленіи. Въ Нюрнбергѣ существовалъ цехъ часовыхъ дѣлъ мастеровъ, и франты носили песочные часы, прикрѣпивъ ихъ къ колѣну. Конечно, эти часы шли не особенно точно, однако, еще въ серединѣ XVII столѣтія на корабляхъ пользовались песочными часами для измѣренія времени, а вмѣстѣ съ тѣмъ и долготы. Еще и въ настоящее время на судахъ пользуются песочными часами при „лагахъ“[1]).

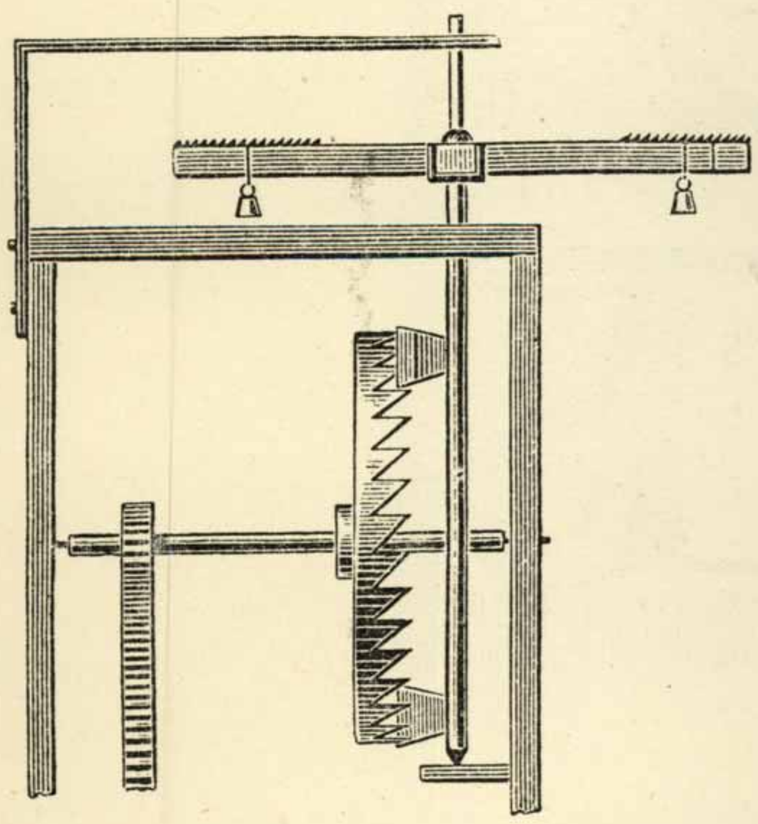
Рис. 164



Песочные часы.

159. Позднѣйшій типъ измѣрителей времени представляютъ собою часы съ колесами, приводимые въ движеніе грузомъ. На ось зубчатаго колеса наматывается веревка, на которой виситъ грузъ. Послѣдній приводитъ ось во вращеніе, а зубчатое колесо захватываетъ своею окружностью за другое, меньшее зубчатое колесо (такъ называемая „шестерня“ или „трибокъ“), прикрѣпленное къ другой оси. Эта ось вращается, такимъ образомъ, быстрѣе первой, и ея движеніе передается тѣмъ же способомъ третьей оси, которая въ свою очередь вращается быстрѣе второй и т. д. Послѣднее колесо вращается, такимъ образомъ, гораздо быстрѣе перваго.

Рис. 165



„Билянцъ“ въ часахъ до изобрѣтенія часовъ съ маятникомъ.

То колесо, которое вращается наиболѣе быстро, теперь какимъ-либо образомъ замедляется и притомъ такъ, чтобы ходъ всего механизма былъ равномѣрнымъ. Въ болѣе древнія времена для этого примѣняли крылатку. Но сопротивленіе воздуха, производящее въ данномъ случаѣ замедленіе, измѣняется въ зависимости отъ температуры и плотности воздуха. Грязь въ мѣстахъ опоры осей и т. п. причины также играютъ большую роль, и потому такого рода часы обладали не особенно равномѣрнымъ ходомъ. Подобныя приспособленія находятъ себѣ примѣненіе еще и теперь, но только тамъ, гдѣ не требуется особой точности, напримѣръ, въ музыкальныхъ коробкахъ, въ валикахъ на телеграфныхъ аппаратахъ и т. д.

Описываемый приборъ сталъ дѣйствовать лучше, когда крылатку замѣнили такъ называемымъ „билянцемъ“ (рис. 165). Изъ всей системы зубчатой передачи на ри-

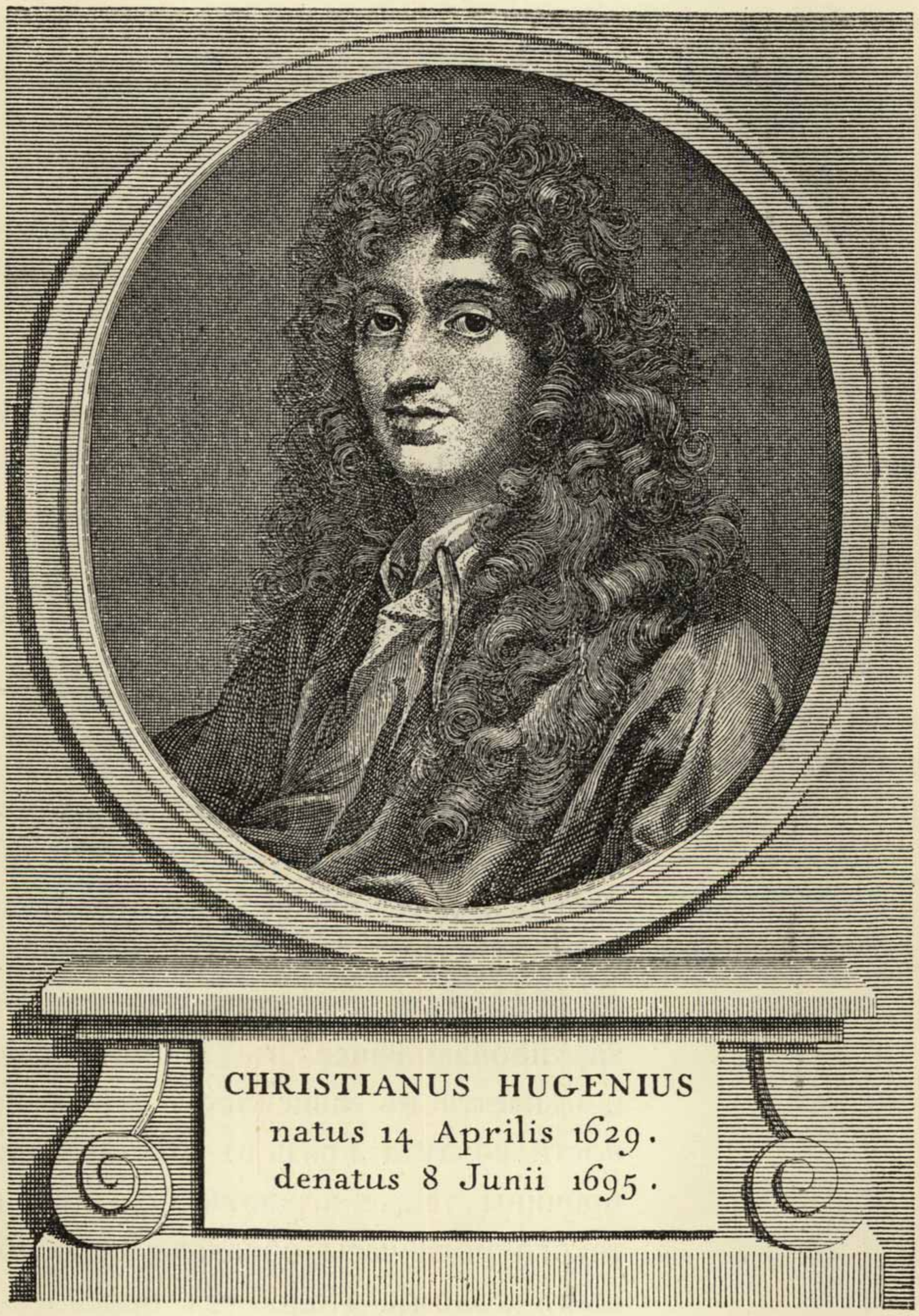
---

[1]) Приборъ для опредѣленія скорости судна. *Прим. пер.*

http://mathesis.ru

сункѣ изображена только самая верхняя ось, на которой помѣщается обыкновенная зубчатка и зубчатое колесо, устроенное особымъ образомъ. Оно приводится въ движеніе системой колесъ, но, цѣпляясь поперемѣнно за двѣ лопатки, укрѣпленныя на оси билянца, постоянно задерживается. Когда зубчатое колесо вращается, то одинъ изъ зубцовъ толкаетъ верхнюю лопатку назадъ. Это движеніе, однако, прекратится, какъ только другой зубецъ зацѣпится за нижнюю лопатку и начнетъ толкать ее впередъ. Затѣмъ колесо снова упирается въ верхнюю лопатку и задерживается ею и т. д. Такимъ образомъ, при каждомъ поворотѣ оси въ одну и въ другую сторону, колесо подви-

Рис. 166



Гюйгенсъ.

гается впередъ на одинъ зубецъ. Чѣмъ тяжелѣе билянцъ, тѣмъ больше времени требуется на такое качаніе. Ходъ часовъ регулируется, поэтому, нагрузкой билянца.

Часы съ колесами и грузами проникли въ Европу также отъ магометанъ. Распространеніе ихъ началось съ XI столѣтія. Въ 1232 году императоръ Фридрихъ II получилъ такіе часы въ подарокъ отъ египетскаго султана. Кромѣ времени, они показывали движеніе солнца, луны, планетъ и звѣздъ.

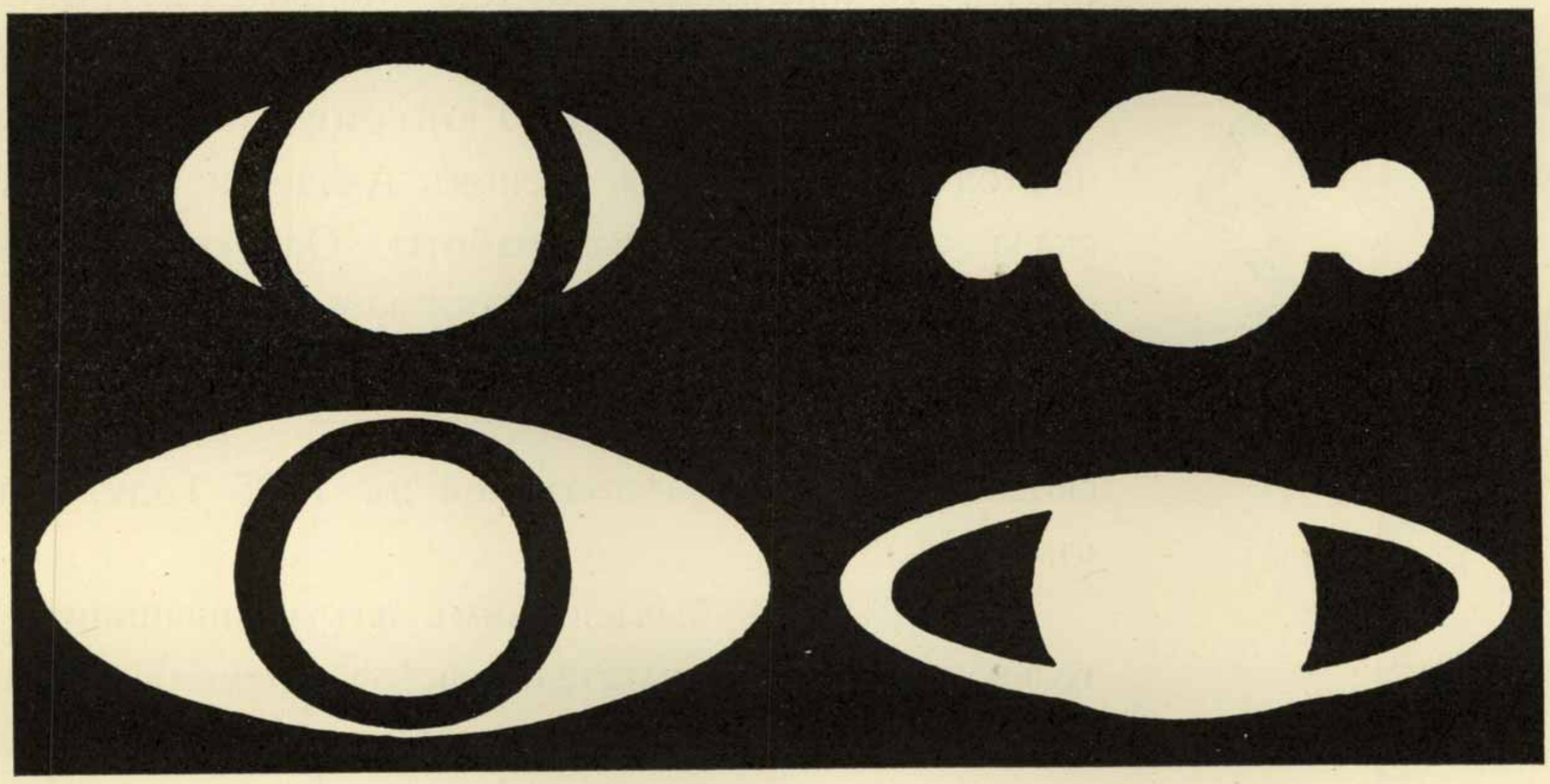
http://mathesis.ru

Данте упоминаетъ о такихъ часахъ въ десятой пѣснѣ „Рая“, и впослѣдствіи ихъ примѣняли въ качествѣ башенныхъ часовъ во многихъ городахъ Европы, напримѣръ, въ соборѣ въ Рибе, въ Ютландіи. Что они шли не слишкомъ вѣрно, можно видѣть изъ того, какъ регулировались часы въ Рибе: билянцъ ихъ нагружался бо̀льшимъ или меньшимъ количествомъ кирпичей. У Тихо Браге было четверо такихъ часовъ. Одно изъ колесъ было въ 3 фута діаметромъ и имѣло 1200 зубцовъ. Движеніе этого колеса было настолько тяжело, что его часто приходилось подгонять молоткомъ.

160. Какъ видно изъ всего сказаннаго, уже съ древнѣйшихъ временъ люди старались создать вѣрный измѣритель времени. И если, несмотря на это, построить удовлетворительный инструментъ такого рода не удавалось, то это доказываетъ, что одной потребности еще недостаточно для того, чтобы породить открытіе, пролагающее новый путь въ наукѣ. Такого рода открытіемъ мы обязаны скорѣе потребности нашего духа познавать явленія, въ данномъ случаѣ, напримѣръ, той потребности, которая побудила Галилея изучать движеніе лампадъ въ Пизанскомъ соборѣ. Конечно, Галилей въ этомъ случаѣ не имѣлъ въ виду создать для человѣчества измѣритель времени, и тѣмъ не менѣе, именно работы Галилея и Гюйгенса привели къ этой цѣли.

161. Христіанъ Гюйгенсъ, родившійся въ 1629 г. въ Гаагѣ, первоначальное образованіе, и именно въ области математики, получилъ отъ своего отца, богатаго и талантливаго человѣка, служившаго личнымъ секретаремъ при принцѣ Оранскомъ. Юный Гюйгенсъ посвятилъ себя изученію правовѣдѣнія, которое и закончилъ съ успѣхомъ уже въ возрастѣ 22 лѣтъ. Въ томъ же году онъ обнародовалъ превосходную математическую работу, привлекшую всеобщее вниманіе. Затѣмъ Гюйгенсъ совершилъ путешествіе по Германіи и Даніи, продолжая свои занятія математикой и

Рис. 167



Первые рисунки Сатурна.

физикой. Однимъ изъ важнѣйшихъ результатовъ его работы были часы съ маятникомъ (§ 162). Его небольшая статья объ этомъ появилась въ 1658 году; болѣе же подробное сочиненіе по теоріи и примѣненію маятника онъ издалъ въ 1673 году.

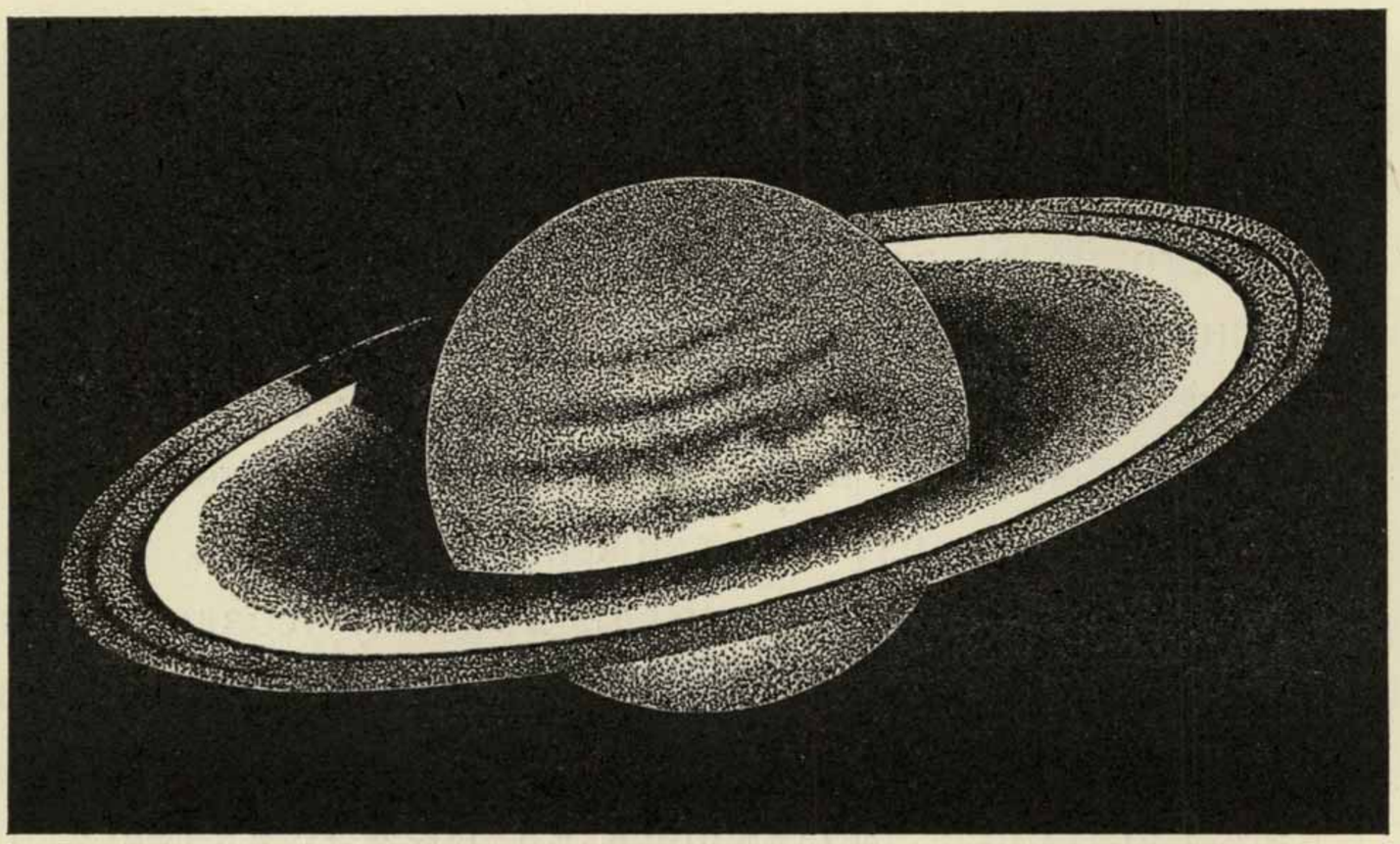
Въ 1655 году Гюйгенсъ открылъ, что замѣчательный видъ, который согласно предшествующимъ наблюденіямъ, имѣлъ Сатурнъ, обусловленъ существованіемъ

http://mathesis.ru

кольца, окружающаго планету. Въ томъ же году Гюйгенсъ открылъ перваго изъ восьми спутниковъ Сатурна.

Конечно, эти открытія стояли въ непосредственной связи съ тѣми значительными успѣхами, которыхъ достигъ Гюйгенсъ въ дѣлѣ улучшенія зрительныхъ трубъ.

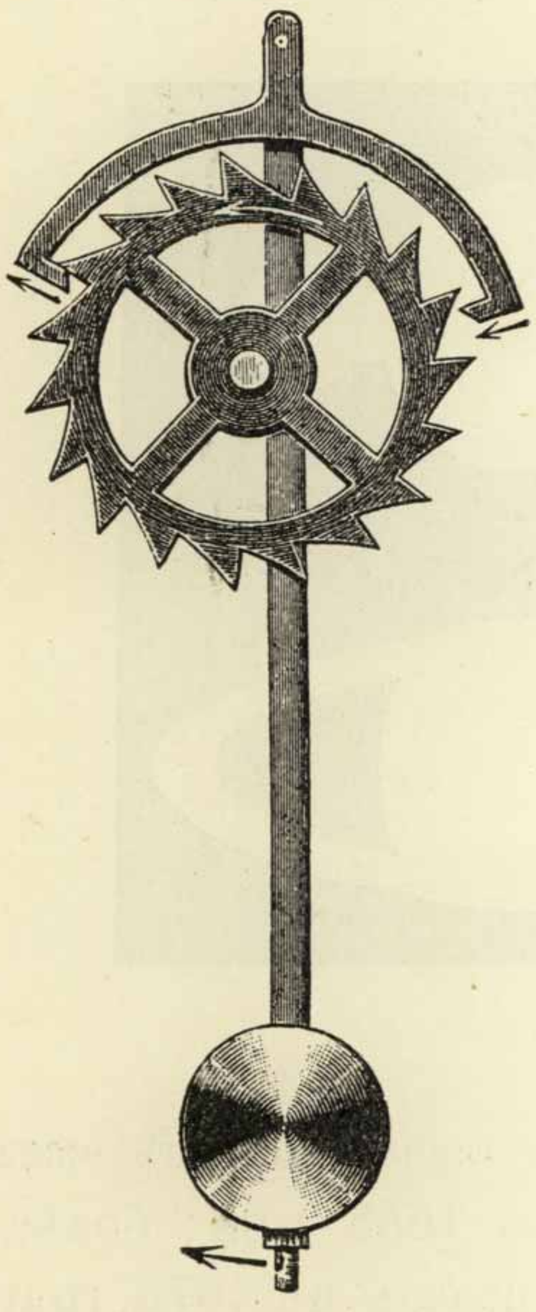
Рис. 168



Сатурнъ и его кольца.

Уже въ 1663 году, во время своего пребыванія въ Лондонѣ, Гюйгенсъ былъ избранъ въ члены Королевскаго Общества, а когда, въ 1665 году Людовикъ XIV основалъ Академію Наукъ въ Парижѣ, то наряду съ другими выдающимися учеными

Рис. 169



Маятникъ съ якоремъ и спусковымъ колесомъ.

въ Парижъ былъ приглашенъ на выгодныхъ условіяхъ и Гюйгенсъ; предварительно министръ Кольберъ убѣдился, что это приглашеніе будетъ принято Гюйгенсомъ, у котораго въ Парижѣ было уже много добрыхъ друзей. Въ теченіе нѣсколькихъ лѣтъ Гюйгенсъ былъ однимъ изъ наиболѣе выдающихся членовъ Академіи, которая выпускала важныя научныя работы. Однако, впослѣдствіи, послѣ отмѣны Нантскаго Эдикта, онъ почувствовалъ себя въ Парижѣ не вполнѣ безопасно и, подобно многимъ другимъ, уѣхалъ оттуда. Съ этого времени до самой своей смерти, послѣдовавшей въ 1695 году, онъ жилъ въ Гаагѣ.

Гюйгенсъ былъ однимъ изъ величайшихъ мыслителей и естествоиспытателей всѣхъ временъ; ему принадлежатъ выдающіяся работы не только въ тѣхъ областяхъ науки, о которыхъ было упомянуто. Впослѣдствіи мы встрѣтимся съ нимъ также въ другихъ областяхъ физики и математики, на которыя до тѣхъ поръ не ступала нога изслѣдователя.

162. Гюйгенсовы часы съ маятникомъ представляютъ собою не что иное, какъ прежніе часы съ зубчатыми колесами и грузами, въ которыхъ билянцъ замѣ-

http://mathesis.ru

ненъ маятникомъ. На рис. 169 изображена та форма спускового механизма, къ которой Гюйгенсъ перешелъ въ 1659 году и которая находится во всеобщемъ употребленіи еще до настоящаго времени. На рисункѣ изъ всей системы колесъ изображено только то колесо системы зубчатыхъ колесъ, которое движется наиболѣе быстро; оно непосредственно соединено со спусковымъ механизмомъ. Направленіе вращенія этого колеса указано бѣлой стрѣлкой. Въ моментъ, изображенный на рисункѣ, колесо удерживается зубцомъ якоря на лѣвой сторонѣ. Но когда затѣмъ маятникъ качнется влѣво, зубецъ якоря отпуститъ захваченный зубецъ колеса и колесо повернется далѣе, но только на ползубца, потому что зубецъ якоря справа попадетъ въ промежутокъ между зубцами колеса и такимъ образомъ задержитъ колесо съ этой стороны. Когда послѣ этого маятникъ снова качнется вправо, то зубецъ на этой сторонѣ освободится, но зато одинъ изъ зубцовъ на лѣвой сторонѣ снова будетъ задержанъ якоремъ. Такимъ образомъ, при каждомъ качаніи маятника туда и обратно колесо подвигается впередъ на одинъ зубецъ.

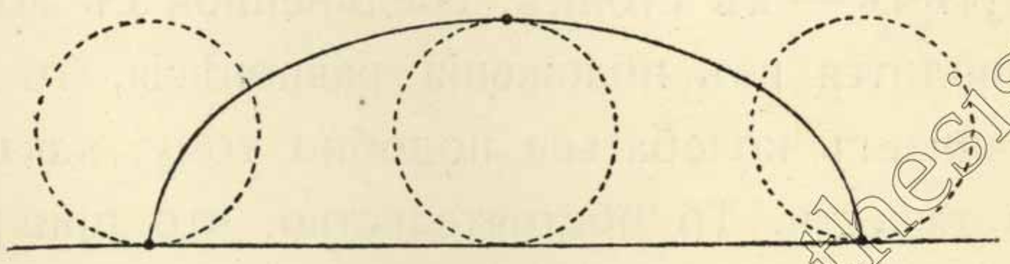
Зубцы якоря, какъ видно изъ рисунка, срѣзаны наискось, такъ что зубецъ колеса, который былъ задержанъ однимъ изъ зубцовъ якоря и затѣмъ снова отпущенъ, долженъ скользить по косой поверхности якоря. Вслѣдствіе этого якорь сообщаетъ маятнику небольшой толчокъ и этимъ достигается то, что маятникъ не можетъ мало по малу остановиться.

Если теперь придѣлать стрѣлки, отмѣчающія число оборотовъ колесъ, а, слѣдовательно, и число качаній маятника, то получится приборъ для измѣренія времени, ходъ котораго не зависитъ отъ загрязненія осей, отъ величины грузовъ и т. д., и опредѣляется только длиною маятника. Ходъ часовъ регулируется измѣненіемъ длины маятника (т. е. перемѣщеніемъ линзы).

163. Рѣшеніе этой важной задачи принесло Гюйгенсу много поздравленій и почетныхъ отличій. Не было недостатка, однако же, и въ попыткахъ оспаривать у него эту честь. Итальянцы настаивали на томъ, что приборъ, предложенный Галилеемъ, былъ часами съ маятникомъ (въ дѣйствительности это было не такъ, см. § 157), а извѣстный химикъ Бехеръ утверждалъ, что часы, регулируемые маятникомъ, были и раньше. Гюйгенсъ даже будто бы видѣлъ часы съ маятникомъ, принадлежавшіе Тихо Браге, у датскаго посланника въ Гаагѣ. Однако, Рёмеръ объяснилъ это, указавъ на то, что маятникъ былъ придѣланъ къ этимъ часамъ позже; равнымъ образомъ и многіе другіе старые часы были впослѣдствіи передѣланы въ маятниковые.

164. Время, необходимое для того, чтобы маятникъ совершилъ одно колебаніе, почти не зависитъ отъ величины размаха. Гюйгенсъ не успокоился до тѣхъ поръ, пока не опредѣлилъ, по какому пути должно двигаться тѣло, чтобы время его колебанія совершенно не зависѣло отъ величины размаха. Оказалось, что такимъ свойствомъ обладаетъ линія, называемая циклоидой. Когда колесо катится по плоскости, то каждая точка его обода описываетъ въ пространствѣ циклоиду (рис. 170). Если обернуть циклоиду вогнутой стороной вверхъ (рис. 171), то получается такъ называемая „изохрона,“ т. е. линія, по которой должна двигаться (колебаться) точка подъ дѣйствіемъ силы тяже-

Рис. 170



Циклоида.

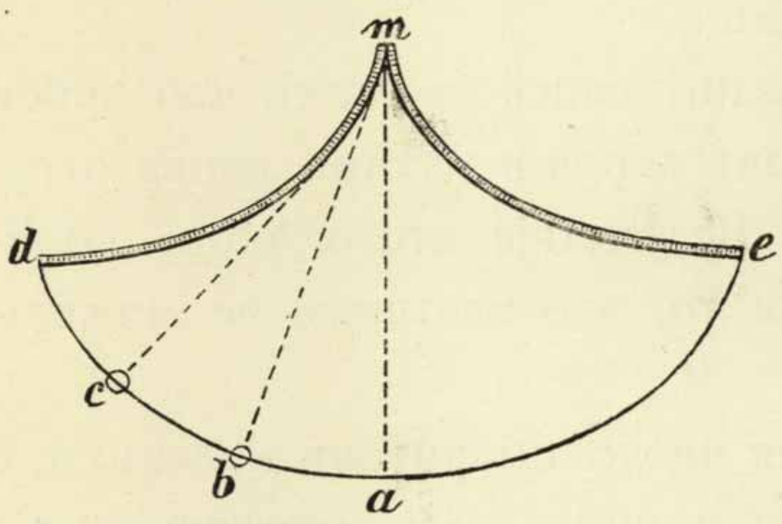
http://mathesis.ru

сти, чтобы время ея колебанія не зависѣло отъ величины размаха. Для того, чтобы придти въ точку *a*, шару нужно будетъ употребить совершенно одинаковое время, независимо отъ того, падаетъ ли онъ изъ точки *b*, *c* или *d*.

Далѣе, Гюйгенсъ нашелъ, что тѣло можно заставить колебаться по циклоидѣ *d c b a*, подвѣсивъ его на шнуркѣ въ точкѣ *m*, гдѣ сходятся два циклоидальныхъ шаблона *m d* и *m e*. Впрочемъ, практическаго значенія это остроумное открытіе не имѣетъ. Обыкновенный маятникъ, линза котораго движется по дугѣ круга, оказывается болѣе цѣлесообразнымъ, потому что при малыхъ размахахъ онъ лишь незначительно уклоняется отъ циклоиды.

Впослѣдствіи другой математикъ, по происхожденію также голландецъ, Иванъ Бернулли (род. въ 1667 г. въ Базелѣ), нашелъ, что циклоида есть не только „тautохрона," т. е. линія равныхъ временъ паденія, но вмѣстѣ съ тѣмъ и „брахистохрона," т. е. линія наименьшихъ временъ паденія. Для того, чтобы тѣло подъ дѣйствіемъ тяжести пришло по возможности скоро изъ *b* въ *a*, или изъ *c* въ *a*, или изъ *d* въ *a*, оно должно двигаться по этой линіи. На каждомъ другомъ пути, между прочимъ и на прямолинейномъ, ему понадобится больше времени, чтобы придти изъ болѣе высокой точки въ болѣе низкую.

Рис. 171



Циклоидальный маятникъ.

165. Часы съ грузомъ и маятникомъ не могутъ, конечно, служить въ качествѣ карманныхъ или корабельныхъ часовъ. Еще и раньше грузъ замѣняли согнутою въ спираль пружиной, а вмѣсто крылатки или билянца употребляли другіе пріемы для замедленія движенія, напримѣръ, брали свиную щетину. Нѣкій Петръ Геле, уроженецъ Нюренберга, около 1510 года пустилъ въ продажу такого рода карманные часы, такъ называемые нюренбергскія яйца. Однако, удовлетворительными измѣрителями времени карманные часы сдѣлались лишь съ тѣхъ поръ, какъ ихъ снабдили приспособленіемъ, соотвѣтствующимъ маятнику, такъ называемымъ балансиромъ. Онъ былъ изобрѣтенъ, безъ сомнѣнія, лишь около 1658 года англичаниномъ Робертомъ Гукомъ. Гукъ, однако, ничего не опубликовалъ объ этомъ, и въ 1675 году Гюйгенсъ писалъ о балансирѣ, какъ о своемъ собственномъ изобрѣтеніи. Но когда Гукъ заявилъ о своемъ первенствѣ, Гюйгенсъ съ готовностью призналъ его.

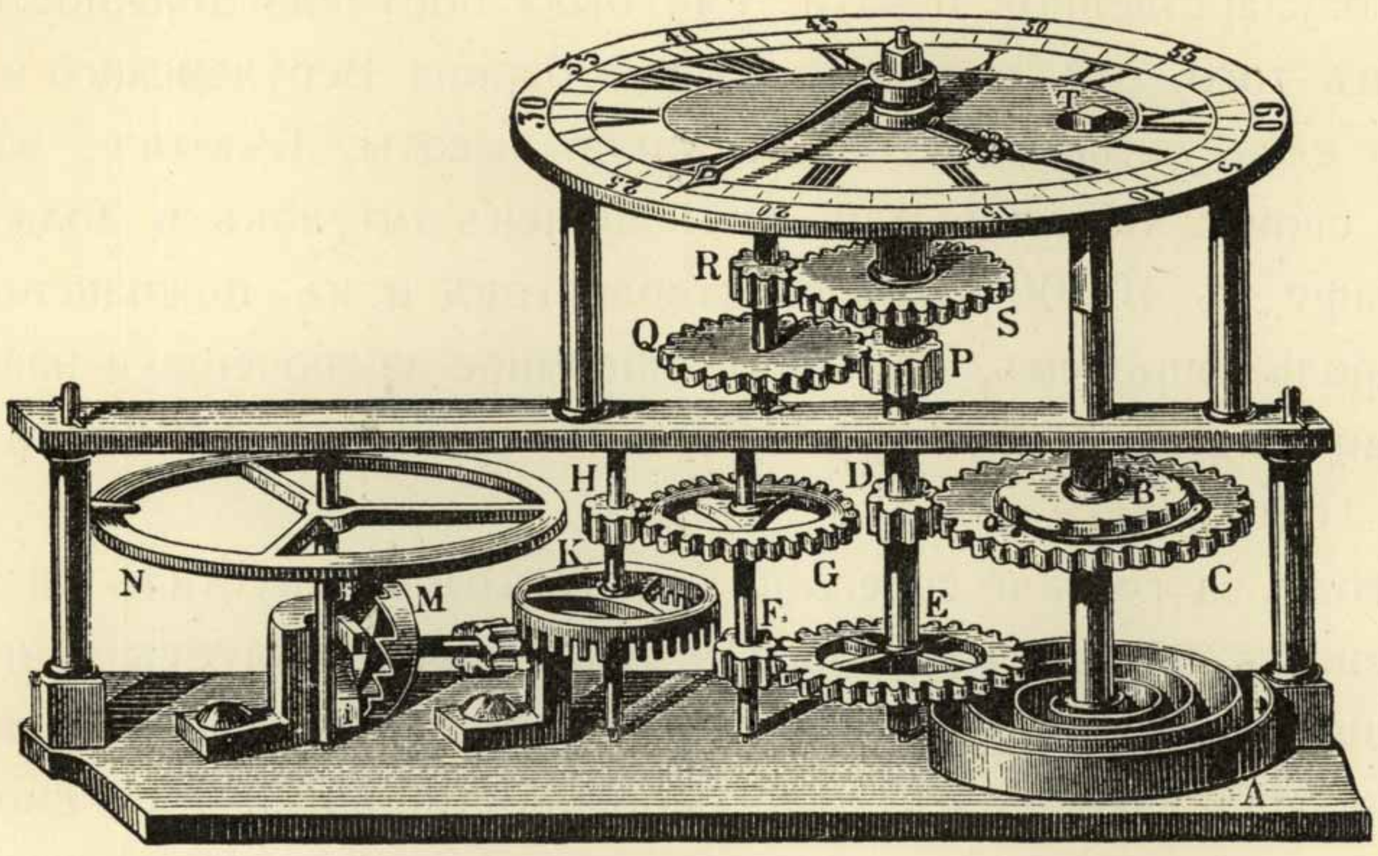
Балансиръ представляетъ собою маленькое маховое колесо *N* (рис. 172), ось котораго снабжена двумя лопатками, поочередно цѣпляющимися за зубцы спускового колеса. Спиральная пружина прикрѣпляется однимъ концомъ къ оси балансира, другимъ — къ стойкѣ, соединенной съ доскою часовъ. Когда балансиръ вращеніемъ выводится изъ положенія равновѣсія, то подъ дѣйствіемъ упругости пружины онъ начинаетъ колебаться подобно тому, какъ колеблется маятникъ подъ дѣйствіемъ силы тяжести. То обстоятельство, что прикрѣпленныя къ его оси лопатки захватываютъ зубцы спускового колеса, съ одной стороны постоянно прерываетъ движеніе этого колеса, а съ другой стороны поддерживаетъ движеніе балансира, благодаря тѣмъ толчкамъ, которые онъ получаетъ отъ спускового колеса. Изъ рисунка легко уяснить

http://mathesis.ru

себѣ, какимъ образомъ вращеніе оси, приводимой въ движеніе пружиной *A*, передается спусковому колесу, а также осямъ стрѣлокъ.

166. Робертъ Гукъ родился въ 1635 году на островѣ Вайтѣ. Онъ былъ слабаго тѣлосложенія. Несмотря на то, что воспитаніе его шло довольно неправильно, колеблясь между обученіемъ ремесламъ и наукамъ, онъ сдѣлался ученымъ. Онъ сталъ экспериментаторомъ, а затѣмъ и секретаремъ Royal Society (Королевскаго Общества). Послѣ того, какъ онъ изобрѣлъ карманные часы (съ балансиромъ), Робертъ Бойль предложилъ ему выгодныя условія эксплоатаціи этого изобрѣтенія; однако, Гукъ со

Рис. 172



Часы съ балансиромъ *N*, приводимымъ въ движеніе заведенной пружиной *A*.

свойственной ему раздражительностью отвергъ его предложенія и изъ-за этого не получилъ никакихъ выгодъ отъ своего изобрѣтенія; да и самая честь этого открытія осталась за нимъ лишь, благодаря благородству Гюйгенса. Гукъ произвелъ важныя работы въ различныхъ областяхъ физики и построилъ много научныхъ измѣрительныхъ инструментовъ. Однако, онъ не далъ крупныхъ открытій, потому что его ученая дѣятельность затрагивала слишкомъ много различныхъ вопросовъ. Повидимому, онъ велъ довольно уединенную и печальную жизнь, и даже въ старости часто лишь подъ утро ложился одѣтымъ въ постель, проработавъ всю ночь напролетъ. — Извѣстенъ его ожесточенный споръ съ Ньютономъ, котораго онъ обвинялъ въ томъ, что тотъ, будто бы, заимствовалъ у него теорію тяготѣнія, не приводя, однако, въ подтвержденіе этого никакихъ доказательствъ. Впрочемъ, Гукъ дѣйствительно высказывалъ мысль, что небесныя тѣла притягиваютъ другъ друга съ силой, зависящей отъ разстоянія, которая и обусловливаетъ ихъ пути; поэтому его по справедливости можно назвать предшественникомъ Ньютона[1]). Онъ умеръ въ 1703 году.

Другія криволинейныя движенія

167. Чтобы составить себѣ представленіе о томъ, насколько трудно было освободиться отъ аристотелевыхъ идей, стоитъ только обратить вниманіе на то, какъ сильно былъ связанъ ими Фрэнсисъ Бэконъ, современникъ Галилея, хотя онъ старался отдѣлаться отъ нихъ болѣе, чѣмъ кто-либо другой.

---

[1]) Сравни примѣчаніе къ § 295.

http://mathesis.ru

Фрэнсисъ Бэконъ, сынъ Николая Бэкона, хранителя Большой государственной печати Англіи, родился въ 1561 г. въ Лондонѣ. Онъ избралъ себѣ юридическую карьеру. Несмотря, однако, на протекцію графа Эссекса, ему не удалось получить выгоднаго мѣста на государственной службѣ. Въ процессѣ противъ графа Эссекса, завершившемся его казнью, Бэконъ сыгралъ далеко не достойную роль, а благодаря сочиненію, которое онъ написалъ, по порученію королевы Елизаветы, въ оправданіе казни графа Эссекса, онъ сталъ крайне непопулярнымъ. Лишь въ правленіе Якова VI ему удалось достигнуть своей давнишней цѣли — высокой государственной должности. Послѣ того, какъ онъ въ теченіе года исполнялъ должность хранителя Большой государственной печати, ему была поручена должность лорда-канцлера Англіи. Кромѣ того, онъ получилъ титулъ барона Веруламскаго и виконта Сэнтъ-Олбэнскаго. Но едва успѣвъ достигнуть такой высоты, Бэконъ, за взяточничество при исполненіи своихъ обязанностей, былъ лишенъ титуловъ и должностей и приговоренъ къ штрафу въ 40000 фунтовъ стерлинговъ и къ пожизненному тюремному заключенію. Король, впрочемъ, отмѣнилъ тюремное заключеніе и назначилъ ему ежегодное содержаніе въ 1800 фунтовъ. Бэконъ не долго пережилъ свое униженіе. Онъ умеръ въ 1626 году.

Въ 1620 году, за годъ до своего паденія Бэконъ выпустилъ въ свѣтъ книгу, посвященную главнымъ образомъ вопросу о томъ, какъ слѣдуетъ двигать впередъ науку. Въ этой книгѣ онъ выступаетъ столь рѣшительнымъ противникомъ аристотелевской натурфилософіи, что многіе, въ особенности англичане, смотрятъ на него, какъ на реформатора въ области научнаго изслѣдованія. Импонируя своимъ высокимъ положеніемъ въ государствѣ, онъ могъ вѣско заявлять, что „упадокъ наукъ произошелъ отъ пустыхъ мудрствованій,“ и что слѣдуетъ возвратиться къ изслѣдованію природы посредствомъ опыта (эмпиріи). „Всѣ источники эмпиріи изливаются въ океанъ философіи.“ Изъ нея вытекаетъ познаніе дѣйствительныхъ причинъ. Допущеніе конечныхъ причинъ, какъ объясненія физическихъ явленій, слѣдуетъ отвергнуть. Бэконъ съ такимъ ожесточеніемъ выступилъ противъ всякихъ умозрѣній, что даже математика имѣла въ его глазахъ лишь подчиненное значеніе.

Такого рода рѣчи были тогда въ высшей степени своевременны и, конечно, не пропали понапрасну, тѣмъ болѣе, что исходили отъ такого высокаго лица. Разумѣется, лучше было бы вмѣсто того, чтобы говорить, больше работать въ этомъ направленіи, подобно Галилею, который поступалъ такъ гораздо раньше, чѣмъ появилась книга Бэкона. Но какъ исполнялъ свои совѣты самъ Бэконъ? Напримѣръ, онъ задается вопросомъ, какія тѣла двигаются вслѣдствіе тяжести и какія вслѣдствіе легкости, каковы предѣлы легкости и принадлежитъ ли воздухъ къ тяжелымъ или легкимъ тѣламъ. Онъ различаетъ 19 различныхъ родовъ движенія. Одинъ изъ этихъ родовъ есть „движеніе вслѣдствіе боязни движенія.“ И въ то же время онъ борется противъ конечныхъ причинъ!

168. Совсѣмъ иного рода побѣда была одержана наукой тогда, когда Галилей формулировалъ законъ инерціи и высказалъ утвержденіе, что при одновременномъ дѣйствіи силъ каждая изъ нихъ производитъ то же дѣйствіе, какое она произвела бы, еслибы дѣйствовала одна. Съ помощью этой одной истины можно объяснить всѣ явленія движенія и, какъ мы уже видѣли, Галилей и выяснилъ съ ея помощью свободное паденіе, движеніе по наклонной плоскости и дви-

http://mathesis.ru

женіе маятника. Далѣе, онъ выяснилъ движеніе брошенныхъ тѣлъ, относительно котораго до него господствовали своеобразныя представленія.

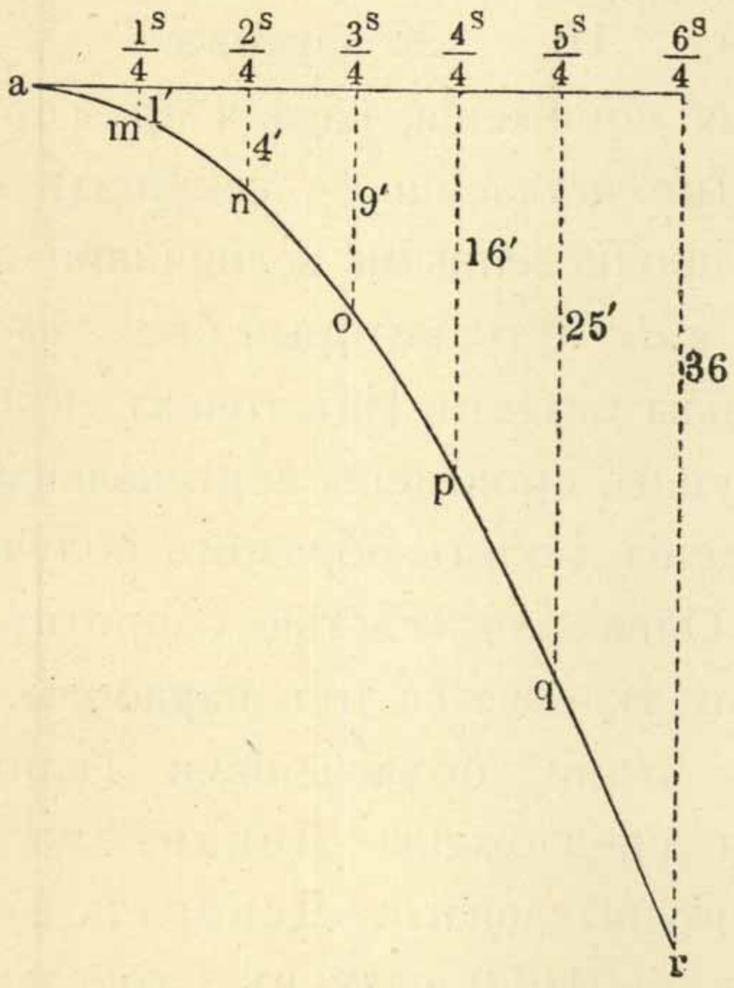
По Аристотелю движеніе тѣла, брошеннаго по горизонтальному направленію, составляется изъ трехъ: движенія по горизонтальной прямой линіи (насильственное движеніе), по дугѣ круга, а именно по четверти окружности (смѣшанное движеніе) и по вертикальной прямой линіи (естественное движеніе). Въ одномъ сочиненіи, относящемся къ 1561 году, эта теорія была измѣнена въ томъ смыслѣ, что путь брошеннаго тѣла складывается только изъ двухъ прямыхъ линій. Первую изъ нихъ тѣло пролетаетъ насильно и, когда вся сообщенная ему сила расходуется, оно падаетъ внизъ по естественному пути.

Выдающійся итальянскій математикъ Тарталья въ сочиненіи, изданномъ въ 1537 году, указалъ на то, что каждая часть пути брошеннаго тѣла должна быть искривленной. Однако, точнаго опредѣленія пути брошеннаго тѣла онъ не могъ дать.

169. Галилеево объясненіе движенія брошеннаго тѣла мы разсмотримъ на нѣсколькихъ примѣрахъ.

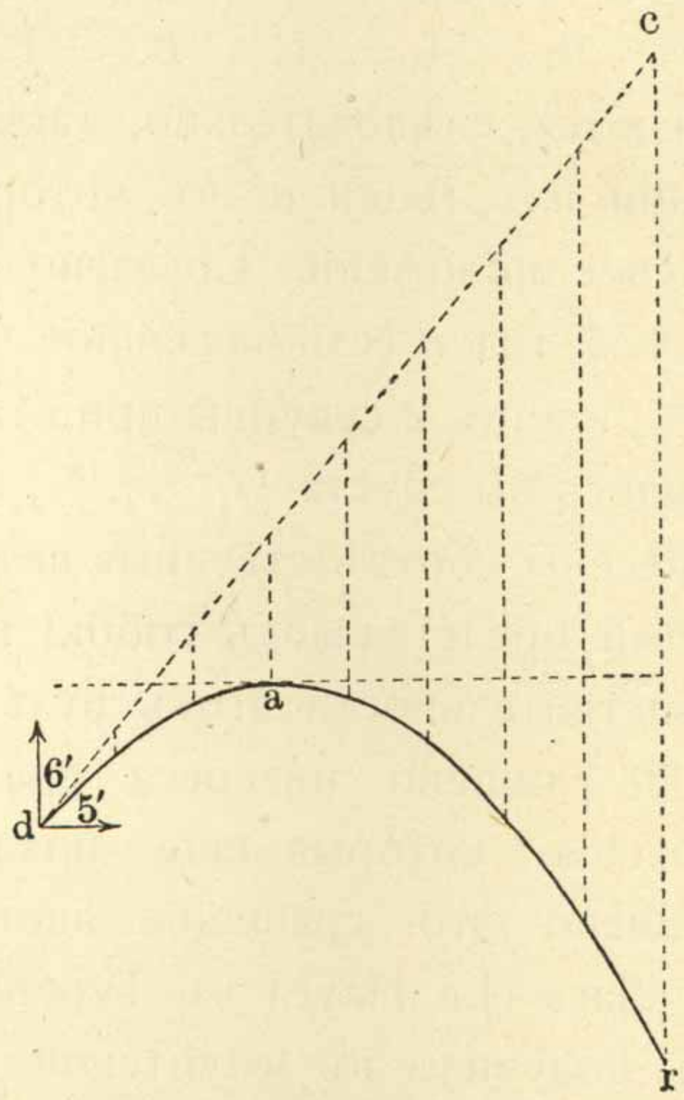
Допустимъ сначала, что тѣло брошено по горизонтальному направленію $a\,b$ (рис. 173). Оно будетъ двигаться по этому направленію съ неизмѣнной скоростью,

Рис. 173



Движеніе горизонтально брошеннаго тѣла.

Рис. 174



Движеніе брошеннаго тѣла.

проходя, напримѣръ, 5 футовъ въ каждую четверть секунды. Если, съ другой стороны, вычислить (ср. § 149) пути, проходимые тѣломъ при паденіи за $^1/_4$, $^1/_2$, $^3/_4$ и т. д. секунды, то окажется, что тѣло падаетъ внизъ въ

	$^1/_4$	$^2/_4$	$^3/_4$	$^4/_4$	$^5/_4$	$^6/_4$	
на	1	4	9	16	25	36	футовъ.

Тѣло, брошенное изъ точки a по горизонтальному направленію, въ томъ случаѣ, еслибы на него не дѣйствовала сила тяжести, передвинулось бы въ $^6/_4$ секунды при равномѣрной скорости изъ точки a въ точку b. Но вслѣдствіе дѣйствія силы тяжести оно въ то же время падаетъ, какъ указано выше. Поэтому спустя $^1/_4$

http://mathesis.ru

секунды тѣло приходитъ въ точку *m*, спустя $^{2}/_{4}$ секунды въ точку *n* и т. д. Путь *amnopqr*, который оно описываетъ, представляетъ собою такъ называемую параболу — кривую линію, которая была извѣстна математикамъ, жившимъ еще въ IV столѣтіи до Р. Х.

170. И въ томъ случаѣ, когда тѣло брошено по какому-либо другому направленію, оно описываетъ параболу. Пусть оно будетъ брошено изъ точки *d* (рис. 174) по такому направленію, что въ каждую четверть секунды оно проходитъ 5 футовъ въ горизонтальномъ направленіи и 6 футовъ въ вертикальномъ. Движеніе тѣла въ горизонтальномъ направленіи отъ дѣйствія силы тяжести не измѣнится, между тѣмъ какъ высота тѣла въ каждый моментъ будетъ зависѣть также и отъ дѣйствія этой силы. Высоты, которыхъ тѣло достигло бы благодаря своей начальной скорости спустя 0, $^{1}/_{4}$, $^{2}/_{4}$, $^{3}/_{4}$, $^{4}/_{4}$, $^{5}/_{4}$, $^{6}/_{4}$, $^{7}/_{4}$, $^{8}/_{4}$ секунды, равны

0, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48 футамъ.

Но въ тѣ же промежутки времени тѣло вслѣдствіе тяжести падаетъ внизъ на

0, 1, 4, 9, 16, 25, 36, 49, 64 фута.

Поэтому высота надъ точкой *d*, которой оно въ дѣйствительности достигаетъ, будетъ соотвѣтственно

0, 5, 8, 9, 8, 5, 0, —7, —16 футовъ,

слѣдовательно, тѣло будетъ ниже точки *a* (которая помѣщается на 9 футовъ надъ *d*) на

9, 4, 1, 0, 1, 4, 9, 16, 25 футовъ.

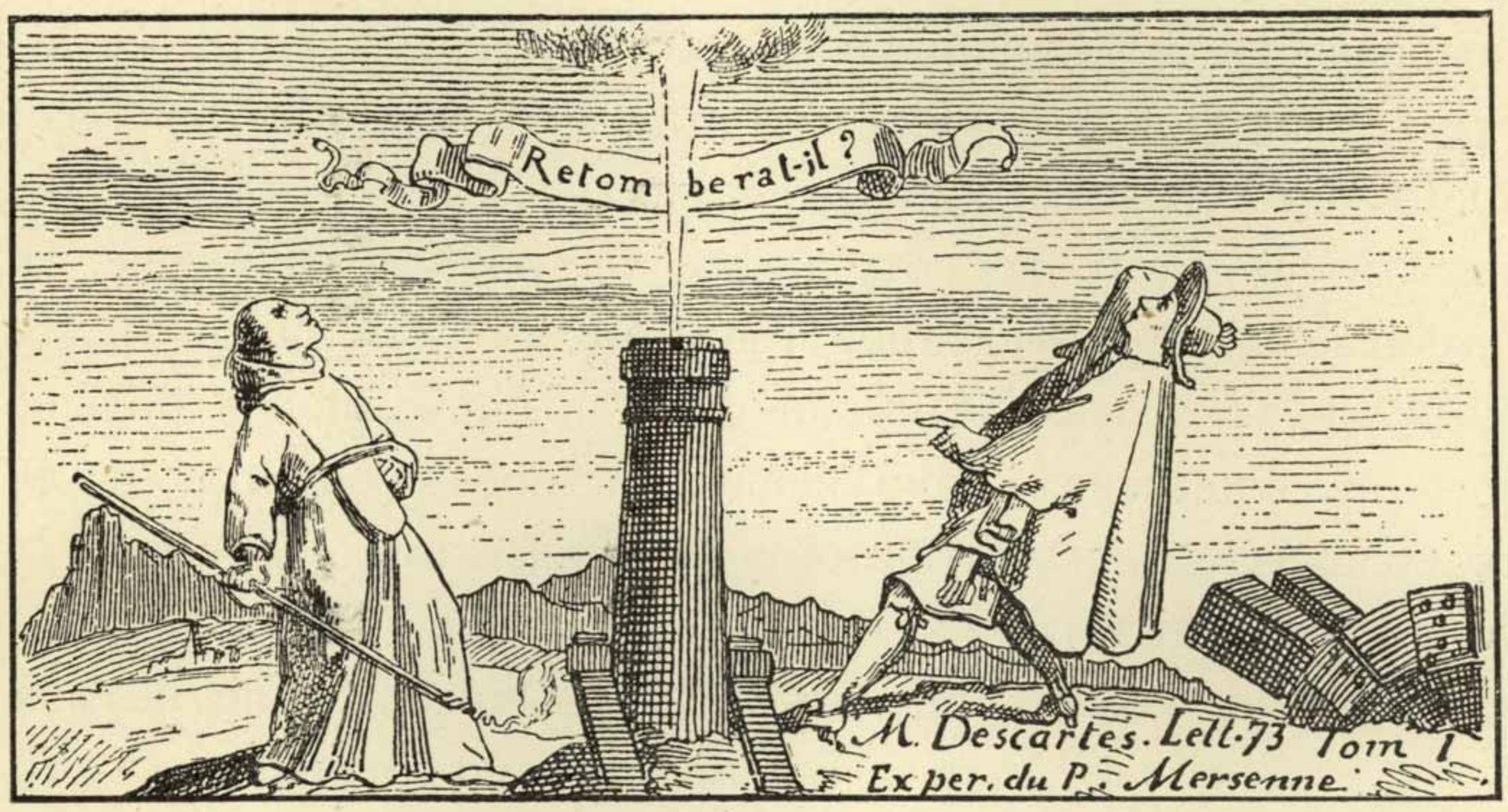
Получаются, слѣдовательно, такія же самыя пониженія, какъ и при горизонтальномъ бросаніи изъ точки *a*, въ которой тѣло (по истеченіи $^{3}/_{4}$ секунды) занимаетъ наивысшее свое положеніе. Согласно съ этими прочисленными величинами вычерчена кривая рис. 174, гдѣ *d* есть начальное положеніе, а *dc* путь, который былъ бы пройденъ тѣломъ въ $^{8}/_{4}$ или въ 2 секунды при отсутствіи силы тяжести. Изъ точекъ, въ которыхъ тѣло находилось бы спустя $^{1}/_{4}$, $^{2}/_{4}$, $^{3}/_{4}$ и т. д. секунды, проведены вертикальныя линіи и на нихъ нанесены соотвѣтственныя величины паденія, такимъ образомъ получился путь *dar*, который представляетъ собою параболу. Однако, вслѣдствіе сопротивленія воздуха въ дѣйствительности этотъ путь нѣсколько уклоняется отъ параболы.

171. Не лишено интереса сравненіе съ этими объясненіями Галилея тѣхъ теорій движенія, которыя еще позднѣе были предложены Декартомъ (Картезіемъ). Однако это сравненіе даетъ мало поучительнаго. Декартъ родился въ 1596 г. въ Лагэ (La Haye) въ Турени, а умеръ въ 1650 году въ Стокгольмѣ. Воспитаніе онъ получилъ въ іезуитской школѣ въ Лафлешѣ (La Flèche), въ молодости былъ военнымъ и принималъ участіе во многихъ походахъ, затѣмъ объѣздилъ разныя страны, долгое время жилъ въ Голландіи (§ 106) и въ концѣ концовъ, по приглашенію шведской королевы Христины, пріѣхалъ въ Стокгольмъ. — Декартъ былъ необыкновенно даровитый человѣкъ. Въ особенности онъ прославился своей философіей. Но за нимъ числятся также крупныя заслуги и въ области математики (аналитическая геометрія). Въ области физики онъ далъ объясненіе лишь нѣкоторымъ отдѣльнымъ явленіямъ (напримѣръ, радугѣ), допускавшимъ математическую обработку. Въ противоположность Галилею, Декартъ считалъ умозрѣніе (спекулятивный методъ изслѣдованія) лучшимъ средствомъ изученія природы. Онъ начинаетъ съ того, что сомнѣвается во всемъ. Отсюда онъ приходитъ къ убѣжденію въ несомнѣнности своего собственнаго существованія, изъ чего выводитъ несомнѣнность существованія

http://mathesis.ru

Бога, изъ ученія о Богѣ онъ выводитъ свойства пространства и вещества и на основаніи этихъ свойствъ создаетъ ученіе о движеніи и ударѣ. Законы движенія, къ которымъ онъ пришелъ такимъ путемъ, представляютъ собою странное сплетеніе идей и трудно даже понять, какъ такой талантливый математикъ, какъ Декартъ, могъ удовлетвориться ими. Самъ онъ говоритъ, однако, что онъ такъ глубоко убѣжденъ въ правильности своихъ законовъ движенія, что въ случаѣ, еслибы они не подтвердились на опытѣ, онъ всетаки больше повѣрилъ бы своему разуму, чѣмъ чувствамъ. И что̀, можетъ быть, еще болѣе замѣчательно, это то, что одинъ ученый за другимъ склонялись передъ его ученіемъ о движеніи и передъ „картезіанскими вихрями," по которымъ будто бы двигается эѳиръ, увлекая за собою планеты и солнце. Въ сочиненіяхъ Декарта попадаются изображенія вродѣ рис. 175. Его товарищъ по іезуитской школѣ Мерсеннъ и артиллеристъ Пти нѣсколько разъ стрѣляли изъ

Рис. 175



Одинъ изъ вопросовъ Декарта.

пушекъ по вертикальному направленію, но обратнаго паденія ядра не наблюдали. Этимъ и объясняется надпись на рисункѣ: Retombera-t-il (упадетъ ли оно обратно)? Понятно, что дуло пушки было направлено не вполнѣ точно по отвѣсу, чего можно достигнуть лишь съ большимъ трудомъ.

Какъ далекъ былъ Декартъ отъ того, чтобы по достоинству оцѣнить творенія Галилея, видно изъ его письма къ Мерсенну, гдѣ онъ говоритъ: „Что касается Галилея, то скажу Вамъ, что я его никогда не видѣлъ и не велъ съ нимъ никакой переписки; поэтому я ничего не могъ у него заимствовать; и въ его книгахъ я не вижу ничего такого, чему бы могъ позавидовать или признать за свое."

Къ числу многихъ, считавшихъ Декарта непогрѣшимымъ, принадлежалъ голландецъ ванъ-Шутенъ, учитель Гюйгенса и другъ его отца. Когда Гюйгенсъ выступилъ со своимъ ученіемъ объ ударѣ, это сильно огорчило учителя, который, желая ученику добра, очень противился этому выступленію.

172. Однимъ изъ главныхъ предшественниковъ Галилея, который не признавалъ авторитета Аристотеля безусловнымъ, былъ Бенедетти (род. въ 1530 г. въ Венеціи, ум. въ 1590 г. въ Туринѣ). Въ механикѣ, изданной въ 1585 г., онъ даетъ объясненіе центробѣжной силы, которая дѣйствуетъ на тѣло, движущееся по кругу. Естественно, говоритъ онъ, чтобы тѣло двигалось по прямой линіи. Поэтому, если оно

http://mathesis.ru

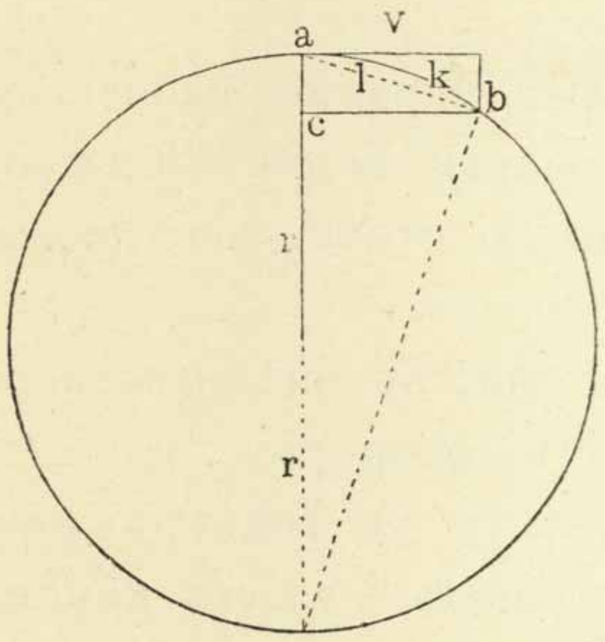
не привязано, то оно удаляется по прямой линіи (касательной), подобно грязи, отскакивающей отъ колесъ быстро движущагося экипажа. Это стремленіе тѣла удаляться отъ центра является причиной того, что называютъ центробѣжной силой.

Это соображеніе стало достаточнымъ для объясненія центробѣжной силы послѣ того, какъ Галилей формулировалъ законъ инерціи. Если тѣло принуждается къ движенію по кругу тѣмъ, что оно привязано на веревкѣ, то веревка должна съ извѣстною силою тянуть тѣло. Съ такою же силою тѣло тянетъ веревку.

Гюйгенсъ первый произвелъ вѣрное вычисленіе центробѣжной силы. По-видимому, его вниманіе было привлечено къ этому вопросу изученіемъ маятника, именно, коническаго маятника (центробѣжнаго). Такъ называется маятникъ, который качается не въ одной и той же плоскости взадъ и впередъ, а описываетъ поверхность конуса. Если шарикъ маятника, подвѣшенный на ниткѣ, вывести изъ положенія равновѣсія въ какую-либо сторону и затѣмъ сообщить ему скорость въ другомъ направленіи, то шарикъ станетъ описывать болѣе или менѣе растянутый эллиптическій путь, а если направленіе и величина скорости размѣрены соотвѣтствующимъ образомъ, онъ будетъ двигаться по кругу[1]). Гюйгенсъ впервые опубликовалъ свое вычисленіе центробѣжной силы въ книгѣ о часахъ, изданной въ 1673 году. Впослѣдствіи онъ написалъ по этому вопросу болѣе подробное сочиненіе. Чтобы читатель могъ понять вычисленіе, произведенное Гюйгенсомъ, и былъ въ состояніи производить подобныя же вычисленія, сами по себѣ представляющія большой интересъ и находящія много практическихъ примѣненій, въ послѣдующихъ двухъ параграфахъ намъ придется пользоваться нѣкоторыми математическими теоремами.

173. Пусть тѣло находится въ точкѣ a (рис. 176) и обладаетъ такою скоростью, что въ единицу времени можетъ пройти путь v. Однако, тѣло не можетъ удалиться отъ круга, потому что оно соединено съ его центромъ при помощи веревки или чего-либо подобнаго. Веревка все время должна тянуть по направленію къ центру (центростремительная сила). Эта тяга имѣетъ какъ разъ такую же величину, какъ и та тяга, которую тѣло производитъ по направленію вовнѣ вслѣдствіе центробѣжной силы; совершенно то же мы имѣемъ въ случаѣ тѣла, подвѣшеннаго на веревкѣ: веревка тянетъ вверхъ съ такою же силой, съ какою тѣло тянетъ внизъ.

Рис. 176



Объясненіе центробѣжной силы.

Еслибы тѣло могло двигаться, подчиняясь закону инерціи, то въ единицу времени оно прошло бы отрѣзокъ прямой v. Но если оно удерживается на круговомъ пути и по прошествіи единицы времени приходитъ въ точку b, то, кромѣ движенія по инерціи v, оно должно совершить движеніе ac. Это послѣднее движеніе вызывается равномѣрно дѣйствующей тягой веревки и опредѣляется величиною центробѣжной силы f.

Подобно тому, какъ сила тяжести, сообщающая тѣлу въ теченіе секунды скорость g, заставляетъ тѣло въ то же время пройти путь $^1/_2 g$ (§ 149), такъ точно и

---

[1]) Коническіе маятники примѣняются въ такихъ механизмахъ, гдѣ движеніе должно быть равномѣрнымъ, а не совершаться скачками, какъ движеніе секундной стрѣлки часовъ.

http://mathesis.ru

центростремительная сила f въ секунду заставитъ тѣло совершить путь $^1/_2 f$. Слѣдовательно, линія $a\,c$ равна $^1/_2 f$.

Какъ извѣстно изъ геометріи, квадратъ, построенный на $a\,b$, равенъ прямоугольнику со сторонами $a\,c$ и $2\,r$. Но такъ какъ мы должны разсматривать движеніе въ безконечно-малый промежутокъ времени, то $l\,k$ и v будутъ равны между собою. Поэтому

$$v^2 = a\,c\,.\,2\,r.$$

Но

$$a\,c = {}^1/_2 f,$$

слѣдовательно,

$$v^2 = {}^1/_2 f\,.\,2\,r = f\,.\,r,$$

откуда

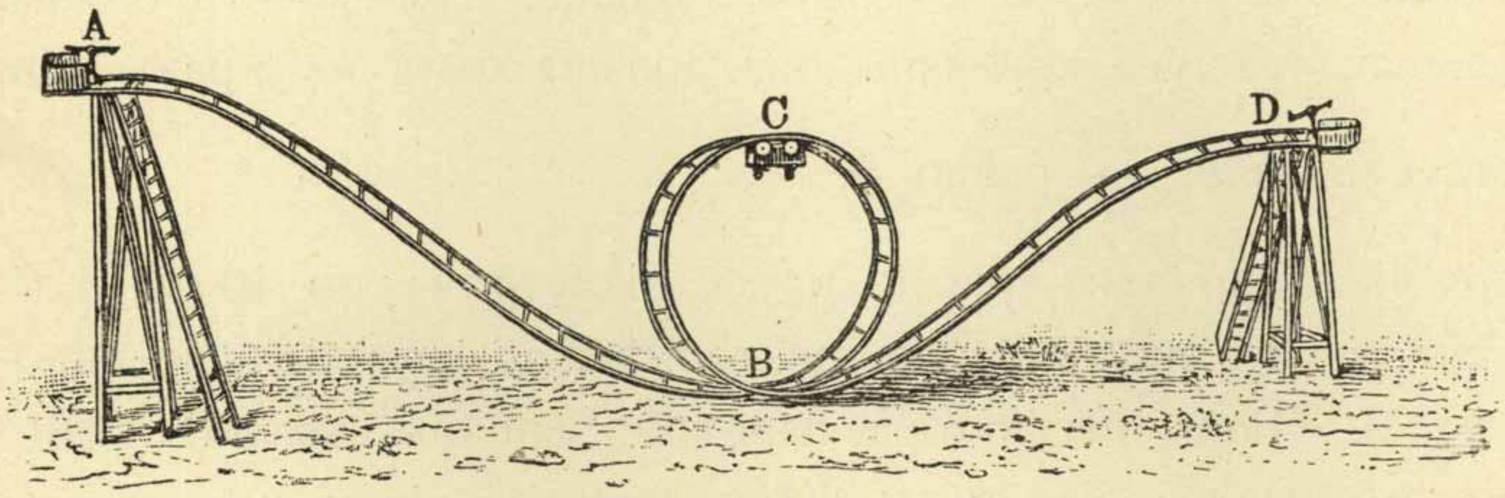
$$f = \frac{v^2}{r}.$$

Какъ видно изъ этой формулы, центростремительная, а, значитъ, и центробѣжная сила тѣмъ больше, чѣмъ больше скорость. Если скорость будетъ въ 2, 3, 4 раза больше, то центробѣжная сила увеличится въ 4, 9, 16 разъ, т. е. центробѣжная сила растетъ пропорціонально квадрату скорости. Далѣе, центробѣжная сила тѣмъ больше, чѣмъ меньше радіусъ кривизны, потому что послѣдній стоитъ въ знаменателѣ формулы. При заданной скорости v центробѣжная сила будетъ, стало быть, тѣмъ больше, чѣмъ быстрѣе мѣняется направленіе движенія.

Примѣръ 1. Экипажъ двигается со скоростью $2\,м$ въ секунду по дорогѣ, представляющей собою дугу радіусомъ въ $6\,м$. Центробѣжная сила равна, слѣдовательно, $\frac{2^2}{6} = 0{\cdot}66\,м$. Такъ какъ сила тяжести равняется g или $9{\cdot}8\,м$, то центробѣжная сила приблизительно равна $^1/_{15}$ силы тяжести. Лицо, сидящее въ экипажѣ, прижимается, слѣдовательно, къ внѣшней стѣнкѣ экипажа съ силой равной одной пятнадцатой части своего вѣса.

Примѣръ 2. Шаръ вѣсомъ въ $0{\cdot}25\,кг$ катится по горизонтальному жолобу со скоростью $0{\cdot}3\,м$ въ секунду. Радіусъ кривизны жолоба равенъ $15\,см$. Какое давленіе производитъ шаръ на боковую поверхность жолоба?

Рис. 177



Движеніе вагонетки по центробѣжной дорогѣ.

Примѣръ 3. Вагонетка скатывается по наклоннымъ рельсамъ и затѣмъ описываетъ круговую петлю (рис. 177). При достаточной скорости вагонетка не упа-

http://mathesis.ru

детъ съ рельсовъ. Если діаметръ кругового пути равенъ 6 *м*, то какова должна быть наименьшая начальная высота вагонетки надъ высшей точкой петли, чтобы центробѣжная сила по меньшей мѣрѣ равнялась силѣ тяжести (треніе и сопротивленіе воздуха не принимаются въ разсчетъ)?

174. Если движеніе все время происходитъ по круговому пути, то формулу можно привести къ нѣсколько болѣе удобному виду. Назовемъ время, необходимое тѣлу для совершенія одного оборота (время обращенія), черезъ T; за это время тѣло, при скорости v, проходитъ путь $v\,T$. Но этотъ же путь, равный окружности круга, можетъ быть выраженъ формулой $2\,\pi\,r$. Итакъ,

$$v\ T = 2\,\pi\,r,$$

слѣдовательно,

$$v^2\ T^2 = 4\,\pi^2\,r^2$$

и

$$v^2 = \frac{4\,\pi^2\,r^2}{T^2}.$$

А такъ какъ

$$v^2 = f\,r,$$

то

$$f\,r = \frac{4\,\pi^2\,r^2}{T^2}$$

или

$$f = \frac{4\,\pi^2\,r}{T^2}.$$

Изъ этой формулы видно, что центробѣжная сила обратно пропорціональна квадрату времени обращенія, что равнозначно прежней теоремѣ о центробѣжной силѣ и скорости. Далѣе, изъ формулы видно, что центробѣжная сила тѣмъ больше, чѣмъ больше радіусъ кривизны. На первый взглядъ кажется, что это противорѣчитъ прежнимъ законамъ; но на самомъ дѣлѣ этого противорѣчія нѣтъ. Пусть, напримѣръ, на рычагѣ карусели тѣло a находится на разстояніи въ 5 разъ большемъ отъ центра, чѣмъ другое тѣло b. Тогда, согласно послѣдней формулѣ, центробѣжная сила a получается въ 5 разъ больше центробѣжной силы тѣла b. Если же мы захотимъ примѣнить первую формулу, то не слѣдуетъ забывать, что скорость a въ 5 разъ больше скорости b. По этой причинѣ центробѣжная сила a должна бы быть въ 25 разъ больше, чѣмъ центробѣжная сила b. Но вслѣдствіе бо̀льшаго радіуса кривизны она должна быть въ 5 разъ меньше, чѣмъ та, которая дѣйствуетъ на b; $\frac{25}{5}$ равно 5.

Примѣръ 1. Тѣло движется по кругу діаметромъ въ 30 *см* и дѣлаетъ 60 оборотовъ въ секунду. Во сколько разъ центробѣжная сила больше силы тяжести?

Примѣръ 2. Шары регулятора паровой машины дѣлаютъ 90 оборотовъ въ минуту и удалены отъ оси на 10 *см*. Каково отношеніе между центробѣжной силой и силой тяжести?

Примѣръ 3. Какая доля силы тяжести уничтожается на земномъ экваторѣ центробѣжной силой, происходящей отъ вращенія земли (діаметръ экватора равенъ 1719 милямъ)?

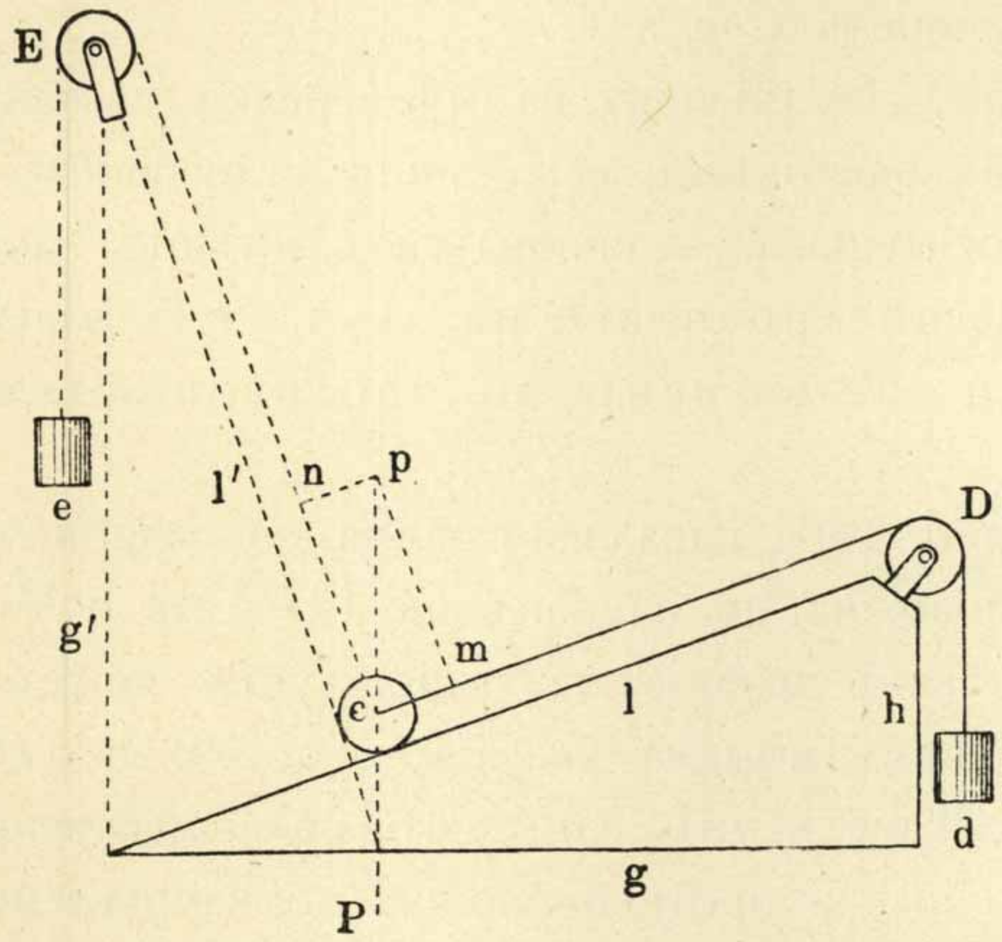
http://mathesis.ru

Параллелограммъ силъ

175. Стевинъ нашелъ (§ 136), что шаръ *c* на наклонной плоскости *l* (рис. 178) удерживается въ равновѣсіи грузомъ *d*, величина котораго относится къ вѣсу *c*, какъ высота *h* наклонной плоскости къ ея длинѣ *l*. Это послужило Стевину исходной точкой для слѣдующихъ выводовъ.

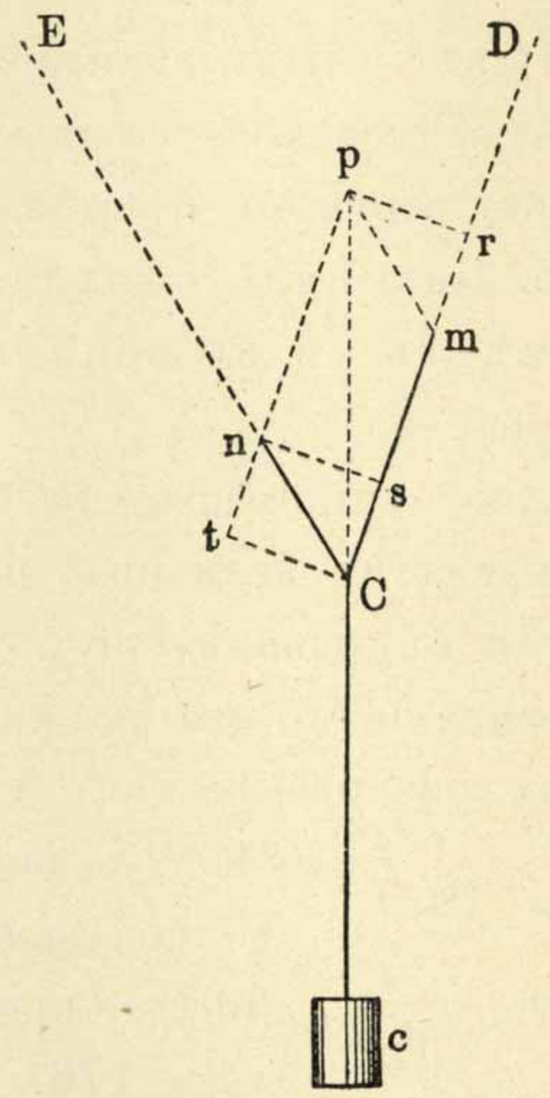
Не произойдетъ никакого нарушенія равновѣсія, если убрать наклонную плоскость и привязать къ шару *c* веревку, перекинутую черезъ блокъ *E* и натянутую грузомъ *e*; при этомъ направленіе веревки должно быть перпендикулярно къ наклонной плоскости, а грузъ своимъ натяженіемъ долженъ какъ разъ замѣнить дѣйствіе опоры *l*.

Рис. 178



Переходъ отъ наклонной плоскости къ параллелограмму силъ.

Рис. 179



Натяженіе двухъ веревокъ грузомъ.

Можно представить себѣ теперь, что слѣва отъ *c* расположена вторая наклонная плоскость *l′*, высота которой *g′* равна основанію, а основаніе равно высотѣ первой наклонной плоскости. На этой наклонной плоскости грузъ *e* будетъ въ равновѣсіи съ *c*, если *e* относится къ *c*, какъ *g′* или *g* къ *l*. Теперь можно представить себѣ, что и вторая наклонная плоскость замѣнена веревкой *c D d* съ соотвѣтствующимъ грузомъ *d*. Въ такомъ случаѣ грузъ *c* будетъ висѣть на двухъ веревкахъ *c D* и *c E*, натянутыхъ грузами *d* и *e*, которые такъ относятся къ *c*, какъ *h* и *g* относятся къ *l*. Если теперь провести черезъ *c* вертикальную линію *c P* и придать ей длину, изображающую графически величину груза *c*, а затѣмъ продолжить эту линію на такое же разстояніе вверхъ, то отрѣзки *c m* и *c n* должны будутъ соотвѣтствовать величинѣ грузовъ *d* и *e*. Въ самомъ дѣлѣ, стороны маленькаго треугольника *c m p* относятся между собою такъ же, какъ стороны треугольника, образованнаго длиной, высотой и основаніемъ наклонной плоскости (*l*, *h*, *g*). Послѣднія же относятся между собою, какъ грузы *d*, *c* и *e*. Такимъ образомъ, сила *c P* можетъ быть въ равновѣсіи съ двумя другими *c m* и *c n*, представляющими собою стороны прямоугольника, въ которомъ продолженіе первой силы является діагональю. Далѣе, Стевинъ показалъ, какъ подобнымъ же образомъ

http://mathesis.ru

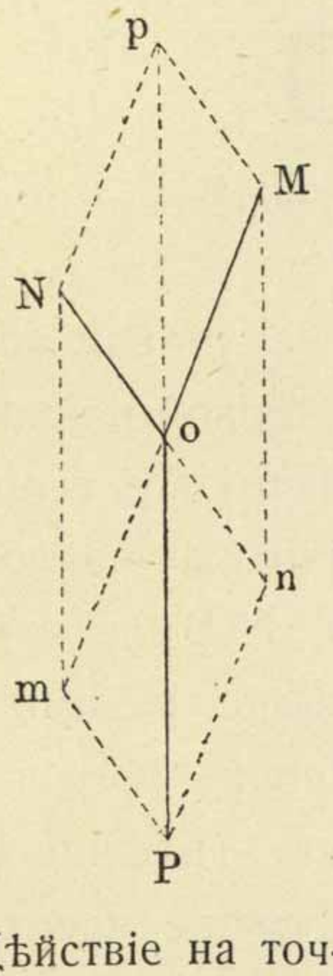
можно опредѣлить натяженіе двухъ веревокъ, привязанныхъ къ грузу, въ томъ случаѣ, если онѣ не образуютъ между собою прямого угла. Если грузъ c (рис. 179) виситъ на веревкахъ DC и EC, то вертикальную линію Cc можно продолжить вверхъ и считать, что длина Cp выражаетъ вѣсъ c. Если теперь изъ p провести линію pm параллельно CE и линію pn параллельно CD, то Cm будетъ представлять собою величину натяженія веревки CD, а Cn натяженіе по CE.

Стевинъ не даетъ яснаго доказательства правильности этого положенія. Доказать его можно слѣдующимъ образомъ. Проведемъ три линіи Ct, ns и pr перпендикулярно къ Cm. По предыдущей теоремѣ, Cp можетъ быть замѣнена черезъ Ct и Cr. Но послѣдняя равна $Cm + mr$ или $Cm + Cs$. Теперь мы имѣемъ три силы Ct, Cm и Cs. Изъ нихъ первая и третья могутъ быть замѣнены черезъ Cn, слѣдовательно, Cp можетъ быть замѣнена черезъ Cm и Cn.

Итакъ, Стевинъ нашелъ, что силы, дѣйствующія на три веревки, связанныя въ одной точкѣ, находятся между собою въ равновѣсіи, если линіи, отложенныя по направленію веревокъ и выражающія относительныя величины силъ, имѣютъ такія длины, что діагональ параллелограмма, построеннаго на двухъ изъ этихъ линій, имѣетъ ту же величину, какъ и третья линія, но противоположное направленіе.

Если, напримѣръ, діагональ op (рис. 180) параллелограмма со сторонами oM и oN равна по величинѣ, но противоположна по направленію oP, то oM и oN находятся въ равновѣсіи съ oP. Такъ какъ равновѣсіе существуетъ между всѣми тремя линіями, то мы съ такимъ же правомъ можемъ сказать, что oM и oP находятся въ равновѣсіи съ oN. Отсюда слѣдуетъ, что on, діагональ параллелограмма $MoPn$, равна по величинѣ и противоположна по направленію oN. Точно также діагональ om параллелограмма $NoPm$ равна по величинѣ и противоположна по направленію oM.

Рис. 180



Дѣйствіе на точку трехъ силъ.

176. Совсѣмъ инымъ путемъ (исходя изъ закона инерціи) Галилей открылъ положеніе, которое можно было бы назвать параллелограммомъ движеній. Если тѣло подъ дѣйствіемъ одной силы должно перейти изъ o въ M, а подъ дѣйствіемъ другой въ тотъ же самый промежутокъ времени изъ o въ N, то подъ одновременнымъ дѣйствіемъ обѣихъ силъ оно передвинется по діагонали параллелограмма изъ o въ p.

Такъ какъ, далѣе, Галилей нашелъ, что сила можетъ быть измѣрена той скоростью, которую она сообщаетъ тѣлу въ единицу времени (§§ 149, 150), то изъ теоремы о параллелограммѣ движеній онъ могъ бы вывести слѣдующее заключеніе. Если движеніе, которое могли бы произвести двѣ силы, дѣйствуя одновременно, равно и противоположно движенію, вызываемому нѣкоторой третьей силой, то движеніе, производимое всѣми тремя силами вмѣстѣ, равно нулю, т. е. такія три силы находятся въ равновѣсіи.

Въ такой общей формѣ теорема, однако, не была высказана ни Стевиномъ, ни Галилеемъ; несомнѣнно, впрочемъ, что вопросъ былъ выясненъ ими въ деталяхъ. Лишь Ньютонъ выразилъ теорему въ той формѣ, въ какой мы только что привели ее. Теперь эту теорему обыкновенно называютъ параллелограммомъ силъ.

http://mathesis.ru

Параллелограммъ силъ примѣняется тогда, когда требуется найти „равнодѣйствующую силу“ двухъ силъ, приложенныхъ въ одной и той же точкѣ. Когда двѣ силы даны по величинѣ и направленію, то равнодѣйствующая сила, или „результирующая,“ представляется діагональю параллелограмма силъ, потому что эта діагональ равна по величинѣ и противоположна по направленію той силѣ, которая находилась бы въ равновѣсіи съ двумя данными.

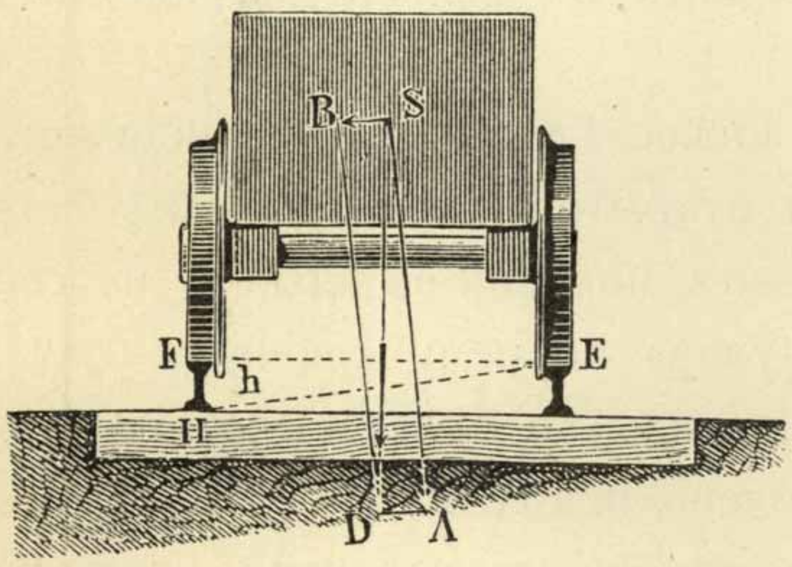
Можно „сложить“ и больше, чѣмъ двѣ силы, складывая сначала двѣ изъ нихъ, затѣмъ полученную равнодѣйствующую съ третьей силой и т. д.

Соотвѣтственнымъ образомъ можно данную силу и разложить на „слагающія“ или „составляющія“. Дѣйствительно, если начертить двѣ другія силы такъ, чтобы данная сила была діагональю параллелограмма, а двѣ новыя образовали собою его стороны, то эти двѣ силы будутъ въ состояніи произвести то же дѣйствіе, что и первая.

Съ помощью теоремы о параллелограммѣ силъ можно легко опредѣлить общее дѣйствіе тяжести и центробѣжной силы.

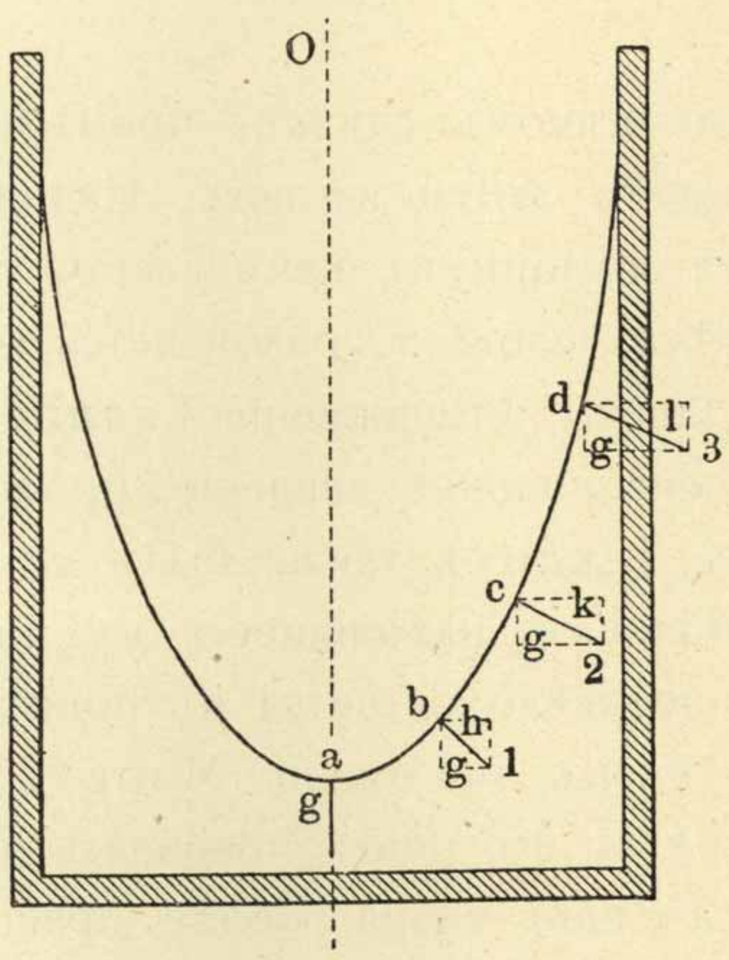
Примѣръ 1. Желѣзнодорожный поѣздъ идетъ со скоростью 20 *м* по закругленію радіусомъ въ 300 *м*. Какую долю силы тяжести составляетъ центробѣжная сила? Въ такихъ мѣстахъ внутренній рельсъ кладутъ нѣсколько ниже внѣшняго (рис. 181), такъ что равнодѣйствующая SD силы тяжести SA и центробѣжной силы SB направляется приблизительно перпендикулярно къ пути.

Рис. 181



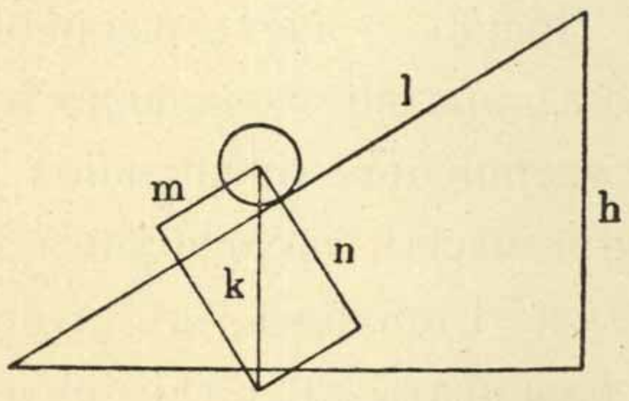
Желѣзнодорожный путь на закругленіяхъ.

Рис. 182



Поверхность жидкости подъ дѣйствіемъ центробѣжной силы.

Рис. 183



Разложеніе силы на двѣ составляющихъ.

Примѣръ 2. Цирковая лошадь бѣжитъ по кругу въ 20 *м* діаметромъ со скоростью 20 *км* въ часъ. Каковъ долженъ быть наклонъ дороги и какъ великъ кажущійся вѣсъ бѣгущей лошади, если дѣйствительный ея вѣсъ равенъ 420 *кг*?

Примѣръ 3. Впослѣдствіи мы увидимъ, что поверхность жидкости устанавли-

http://mathesis.ru

вается всегда перпендикулярно къ направленію силы, дѣйствующей въ каждой точкѣ ея поверхности. Если вращать жидкость вокругъ вертикальной оси (мѣшая ее въ чашкѣ, вращая на центробѣжной машинѣ и т. п.), то ея поверхность принимаетъ форму, изображенную на рис. 182. Въ точкахъ a, b, c и d сила тяжести вездѣ одна и та же, центробѣжная же сила соотвѣтственно будетъ равна 0, 1, 2, 3. Силы, дѣйствующія въ различныхъ точкахъ, суть g, h, k и l, и поверхность въ точкахъ a, b, c и d перпендикулярна къ нимъ. Чѣмъ больше скорость вращенія, тѣмъ болѣе дѣйствующія силы направляются наружу и тѣмъ круче подымается поверхность. Параболическое углубленіе становится больше. При достаточно большой скорости показывается дно сосуда, а поверхность жидкости становится почти вертикальной (цилиндрической).

Примѣръ 4. Условіе равновѣсія на наклонной плоскости можно теперь вывести инымъ способомъ, чѣмъ прежде. Вѣсъ тѣла k (рис. 183), направленный вертикально внизъ, разлагается на двѣ слагающія n и m, изъ которыхъ первая даетъ давленіе на наклонную плоскость, а вторая силу, съ которой тѣло дѣйствуетъ въ направленіи наклонной плоскости. Очевидно, послѣдняя относится къ вѣсу k такъ, какъ h относится къ l (ср. § 136).

Ударъ

177. Галилей и его ученикъ Торричелли замѣчаютъ, что сила удара безконечно велика въ сравненіи съ силой давленія. Ударъ и давленіе несравнимы между собою.

Во всякомъ случаѣ, примѣры, подобные нижеслѣдующимъ, повидимому, подтверждаютъ этотъ взглядъ. Сильный ударъ по открытой двери не такъ легко можетъ ее захлопнуть, какъ слабое давленіе. Стаканъ, могущій выдержать на себѣ давленіе вѣса человѣка, разбивается отъ быстраго удара по нему ключемъ.

Однако, утвержденіе Галилея невѣрно. Правильнѣе будетъ сказать, что ударъ есть очень сильное давленіе, продолжающееся очень недолго.

И Декартъ также былъ не вполнѣ правъ, утверждая, что малое тѣло при ударѣ о бо́льшее, находящееся въ покоѣ, отскакиваетъ назадъ съ прежней скоростью, а бо́льшее тѣло остается въ покоѣ.

Нѣмецъ, по имени Маркусъ Марци, писавшій о движеніи нѣсколько позже Галилея,— его книга появилась въ 1639 году въ Прагѣ—, даетъ различныя указанія касательно удара, болѣе правильныя, чѣмъ большинство появлявшихся раньше объясненій по этому предмету. Напримѣръ, онъ совершенно правильно замѣчаетъ, что упругій шаръ при ударѣ о другой шаръ равной массы, находящійся въ покоѣ, передаетъ ему свою скорость, а самъ останавливается. Впрочемъ, въ отношеніи ясности и точности разсужденій его далеко нельзя сравнивать съ Галилеемъ.

178. Прежде думали, что первый толчокъ къ изслѣдованію вопроса объ ударѣ тѣлъ былъ данъ англійскимъ Королевскимъ Обществомъ (Royal Society), которое въ 1668 году объявило премію за рѣшеніе этой задачи. Рѣшеніе было дано тремя выдающимися учеными, Джономъ Валлисомъ, Христофоромъ Реномъ и Гюйгенсомъ. Но у Гюйгенса рѣшеніе этой задачи было готово еще въ 1656 году, и онъ медлилъ его опубликовать лишь потому, что ванъ-Шутенъ опасался, какъ бы

http://mathesis.ru

онъ не скомпрометтировалъ себя передъ Декартомъ (§ 171). Когда Гюйгенсъ въ 1663 году встрѣтился въ Лондонѣ съ Реномъ, занятымъ опытами надъ ударомъ тѣлъ, онъ при помощи своихъ формулъ, которыя всегда помнилъ, могъ въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ предсказать результатъ. Валлисъ (1616 — 1703), профессоръ Оксфордскаго Университета, былъ выдающимся математикомъ и оставилъ нѣсколько различныхъ работъ, имѣющихъ важное значеніе еще и теперь. Ренъ (1632 — 1722) былъ профессоромъ сначала въ Лондонѣ, затѣмъ въ Оксфордѣ, но прославился, главнымъ образомъ, какъ архитекторъ. За пятидесятилѣтіе съ 1668 по 1718 годъ онъ построилъ болѣе 60 церквей и другихъ общественныхъ зданій, между прочимъ, величественную церковь Св. Павла въ Лондонѣ.

Эти три отвѣта на задачу были замѣчательны тѣмъ, что взаимно дополняли другъ друга.

Именно, Валлисъ разсматривалъ ударъ двухъ такихъ тѣлъ, которыя послѣ удара не отдѣляются другъ отъ друга. Это имѣетъ мѣсто въ случаѣ тѣлъ неупругихъ, каковы свинецъ, глина и т. п. Такія тѣла сохраняютъ измѣненіе формы, испытанное ими при ударѣ, и въ нихъ не замѣтно никакого стремленія принять снова прежнюю форму.

Валлисъ указалъ на то, что количество движенія, т. е. произведеніе массы и скорости, до и послѣ удара имѣетъ одну и ту же величину. Если, напримѣръ, шаръ въ 10 *кг*, движущійся со скоростью 5 *м*, настигаетъ шаръ въ 5 *кг*, движущійся со скоростью 2 *м*, такъ что сумма количествъ движенія есть $50 + 10 = 60$, то оба шара вмѣстѣ (15 *кг*) начинаютъ двигаться со скоростью 4 *м*, потому что $15 \times 4 = 60$[1]). Если тѣла движутся въ противоположныхъ направленіяхъ, то, естественно, количество движенія послѣ удара равно разности количествъ движенія до удара.

Примѣръ. Если сталкиваются два равныхъ неупругихъ шара, движущихся съ равными скоростями на встрѣчу другъ другу, то оба приходятъ въ состояніе покоя.

179. Ренъ и Гюйгенсъ, наоборотъ, изслѣдовали случай упругихъ тѣлъ, у которыхъ измѣненіе формы, вызванное ударомъ, проходитъ, такъ что тѣла принимаютъ первоначальную форму. Какъ Ренъ, такъ и Гюйгенсъ предполагаютъ при этомъ, что за тѣми давленіями, которыя тѣла производятъ другъ на друга въ короткій промежутокъ времени между первымъ соприкосновеніемъ и наибольшимъ сближеніемъ ихъ центровъ тяжести, слѣдуютъ совершенно соотвѣтствующія давленія, возникающія въ послѣдующій промежутокъ времени, когда тѣла другъ отъ друга удаляются; другими словами, то измѣненіе скорости, которое тѣла испытываютъ во время сдавливанія, возмѣщается въ тотъ промежутокъ времени, когда они вновь расширяются до первоначальнаго объема.

Рену принадлежитъ заслуга подтвержденія этого предположенія на опытахъ. Гюйгенсъ въ высшей степени геніальнымъ путемъ пришелъ къ тѣмъ же заключеніямъ, что и Ренъ. Сначала онъ дѣлаетъ нѣсколько простыхъ предположеній, а затѣмъ выводитъ изъ нихъ свои слѣдствія. Къ числу этихъ предположеній принадле-

---

[1]) Если взятыя массы суть M и m, скорости C и c, то скорость v послѣ удара опредѣляется уравненіемъ:

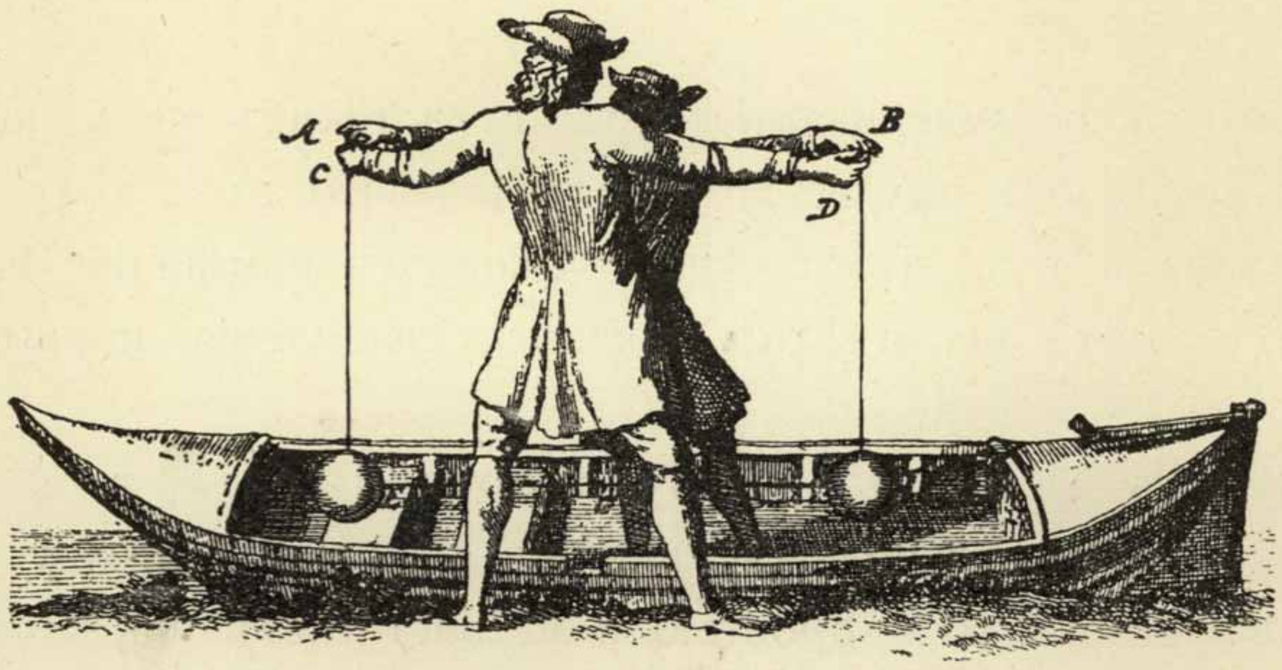
$$M \cdot C + m \cdot c = (M + m)\, v.$$

При взаимно противоположныхъ направленіяхъ движенія одна изъ скоростей считается отрицательной.

http://mathesis.ru

житъ слѣдующее. Когда два упругихъ шара одинаковой величины сталкиваются съ одною и тою же скоростью, то они отскакиваютъ другъ отъ друга съ тою же скоростью, съ какой столкнулись. Во время сжатія обѣ скорости уничтожаются (§ 178, примѣръ), а во время расширенія каждый изъ шаровъ получаетъ такую же скорость въ обратномъ направленіи. Это приводитъ Гюйгенса къ предположенію, что всѣ движенія относительны, т. е. въ данномъ случаѣ, если опредѣлены относительныя движенія шаровъ, то безразлично, представлять ли себѣ все явленіе происходящимъ на неподвижномъ мѣстѣ или же на такомъ мѣстѣ, которое само находится въ движеніи (рис. 184). Если вышеупомянутый опытъ съ ударомъ двухъ равныхъ по вели-

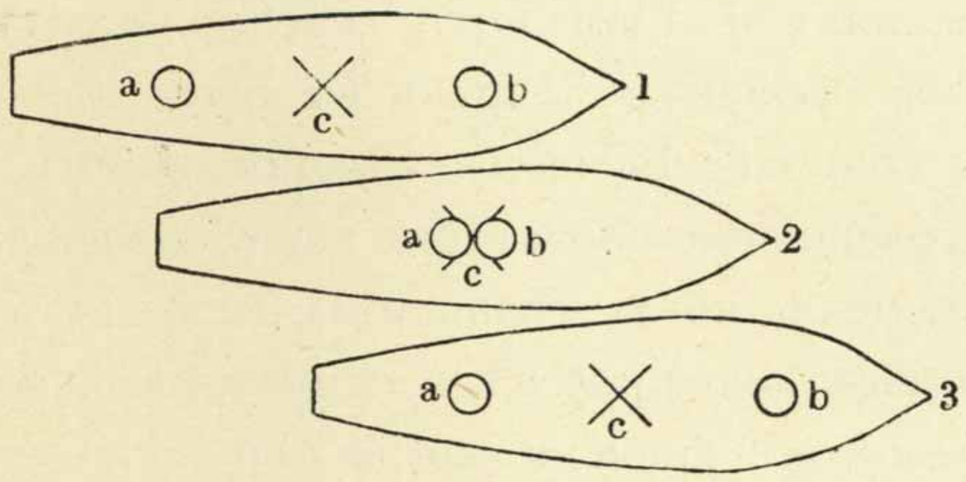
Рис. 184



Движеніе сталкивающихся шаровъ, какъ оно представляется съ лодки и съ земли (по Гюйгенсу).

чинѣ шаровъ производится въ лодкѣ, то можно различить три момента, изображенные на рис. 185: 1. *a* и *b* сближаются съ одинаковыми скоростями; 2. они сталкиваются въ серединѣ, въ точкѣ *c*; 3. они удаляются другъ отъ друга съ равными скоростями. Если лодка двигается и притомъ съ тою же скоростью, что и шары, то человѣку, смотрящему съ земли, будетъ казаться, что до столкновенія (1 и 2) шаръ *b* находится какъ-бы въ покоѣ (потому что скорость *b* къ западу и скорость лодки къ востоку равны между собою), и что шаръ *a* обладаетъ вдвое бо̀льшею скоростью, чѣмъ его дѣйствительная скорость. Послѣ же столкновенія наблюдателю будетъ казаться (2 и 3), что шаръ *a* находится въ покоѣ (теперь онъ столь же быстро двигается на западъ, какъ лодка на востокъ), а шаръ *b* теперь имѣетъ двойную скорость. Такимъ способомъ Гюйгенсъ доказываетъ, что когда упругій шаръ *a* сталкивается съ такимъ же по величинѣ покоящимся шаромъ *b* (рис. 185, 1 — 2), то послѣдній (*b*) приходитъ въ движеніе со скоростью ударившаго по немъ шара, а первый (*a*) останавливается (рис. 185, 2 — 3).

Рис. 185



Ударъ равныхъ упругихъ шаровъ въ лодкѣ.

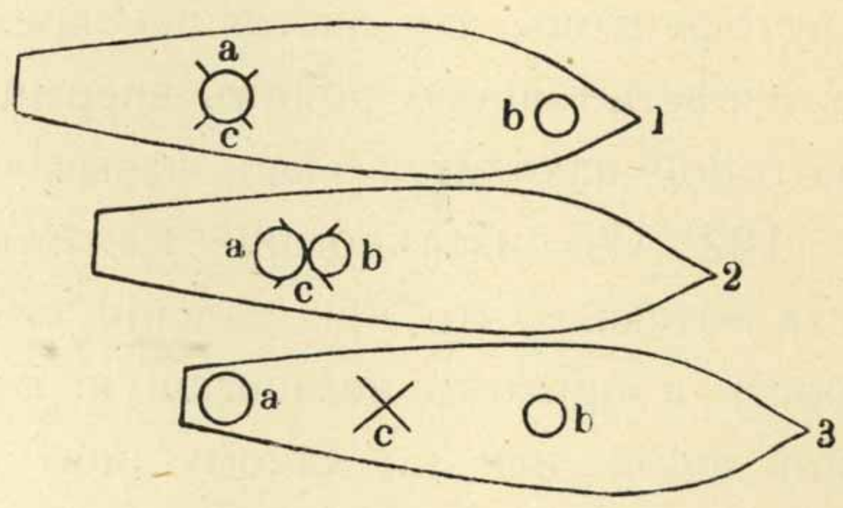
Подобнымъ же способомъ Гюйгенсъ разсуждалъ о столкновеніи шаровъ неравной величины, движущихся съ неравными скоростями. Здѣсь не мѣсто входить въ

http://mathesis.ru

подробности этихъ вычисленій; надо будетъ только указать на то, какимъ образомъ подобныя изслѣдованія привели къ положеніямъ, играющимъ въ механикѣ чрезвычайно важную роль.

180. Въ лодкѣ, плывущей къ востоку (рис. 186, 1), лежитъ бо̀льшій шаръ *a* на мѣстѣ, обозначенномъ крестикомъ *c*. Меньшій шаръ *b* катится съ восточнаго конца лодки, со скоростью 10 футовъ, по направленію къ большому и сталкивается съ нимъ (рис. 186, 2). Большой шаръ приходитъ вслѣдствіе этого въ движеніе. Пусть онъ двигается со скоростью 6 футовъ по направленію къ западу (рис. 186, 3). Допустимъ, далѣе, что лодка двигается къ востоку со скоростью 3 футовъ, т. е. со скоростью вдвое меньшей, чѣмъ шаръ *a*. Пока лодка переходила изъ положенія 1 въ положеніе 2, покоящійся шаръ обладалъ абсолютной скоростью въ 3 фута по направленію къ востоку (т. е. скоростью лодки). Когда лодка переходила изъ положенія 2 въ положеніе 3, тотъ же шаръ обладалъ абсолютной скоростью въ 3 фута по направленію къ западу (именно, своею собственною скоростью къ западу въ 6 футовъ за вычетомъ скорости лодки къ востоку въ 3 фута). Шаръ *a* имѣетъ, такимъ образомъ, до и послѣ удара одну и ту же скорость, но въ противоположныхъ направленіяхъ. Слѣдовательно, отъ удара другого шара онъ ни выигралъ, ни проигралъ силы (воспользуемся временно этимъ терминомъ), и потому скорость другого шара также могла измѣнить лишь свое направленіе, но не величину. До удара скорость шара *b* по направленію къ западу равнялась 7 ($= 10 - 3$) футамъ, послѣ же удара онъ долженъ обладать скоростью въ 7 футовъ къ востоку. А такъ какъ лодка сама движется къ востоку со скоростью 3 футовъ, то внутри лодки шаръ будетъ двигаться со скоростью въ 4 ($= 7 - 3$) фута. До удара скорости шаровъ въ лодкѣ были 0 футовъ и 10 футовъ къ западу, послѣ удара — 6 футовъ къ западу и 4 къ востоку. До удара они, стало быть, сближались на 10 футовъ въ секунду, послѣ удара — удалялись другъ отъ друга на 10 футовъ въ секунду. Такимъ способомъ Гюйгенсъ доказалъ, что два неравныхъ шара съ неравными скоростями послѣ удара удаляются другъ отъ друга съ тою же скоростью, съ какою до удара сближались[1]).

Рис. 186



Ударъ неравныхъ шаровъ.

То обстоятельство, что законы удара можно вывести такимъ простымъ способомъ, уже само по себѣ представляетъ интересъ. Но важнѣе всего то, что такимъ путемъ Гюйгенсъ дошелъ до разсужденій, которыя составятъ содержаніе слѣдующихъ параграфовъ.

---

[1]) Скорость покоящагося шара по отношенію къ лодкѣ равна нулю, скорость движущагося — *b*. Послѣ удара первая скорость по отношенію къ лодкѣ равна — *a*. Пусть скорость лодки есть $a/2$. Абсолютная скорость перваго шара до удара $+ a/2$, послѣ удара $- a/2$. Абсолютная скорость другого шара до удара $a\,2 - b$, послѣ удара $b - a/2$, слѣдовательно, скорость относительно лодки $b - a$. Разность между этой скоростью и скоростью перваго шара ($- a$) равна *b*, т. е. она осталась неизмѣнной.

http://mathesis.ru

Энергія

181. Еще изъ работъ Архимеда, въ особенности же изъ открытаго Стевиномъ начала возможныхъ перемѣщеній (§ 134), вытекало, что произведеніе изъ вѣса тѣла на его высоту надъ опредѣленнымъ уровнемъ даетъ мѣру, въ футофунтахъ или килограмметрахъ, — того, что́ можетъ произвести тѣло, падая со своей высоты до этого уровня. Именно, оно можетъ сообщить другому тѣлу, — будетъ ли послѣднее велико или мало, — такое же число футофунтовъ. И то же самое число футофунтовъ необходимо и достаточно затратить для того, чтобы вновь поднять тѣло до прежняго уровня.

Итакъ, поднятое тѣло обладаетъ нѣкоторой способностью, которою уже не обладаетъ упавшее, именно, способностью сообщить другому тѣлу опредѣленное число футофунтовъ. Въ настоящее время эту способность называютъ энергіей, и такъ какъ извѣстно много родовъ энергіи, то эту форму энергіи, зависящую отъ высоты, на которой находится тѣло, называютъ энергіей положенія.

182. Изъ изслѣдованій Галилея относительно паденія тѣлъ по наклонной плоскости вытекало, что при паденіи съ извѣстной высоты тѣло получаетъ опредѣленную скорость и притомъ независящую отъ того, падаетъ ли тѣло свободно, т. е. по отвѣсной линіи, или по какому-либо другому пути. Съ помощью законовъ паденія (§ 149) легко вычислить, какую скорость v имѣетъ падающее тѣло въ каждый данный моментъ, и какой путь s оно прошло. Получается слѣдующее:

Время паденія	Скорость	Высота паденія
t	$g \times t$	$^1/_2 g \times t^2$
1^s	$32 \times 1 = 32$ фут.	$16 \times 1^2 = 16$ фут.
2^s	$32 \times 2 = 64$ „	$16 \times 2^2 = 64$ „
3^s	$32 \times 3 = 96$ „	$16 \times 3^2 = 144$ „
4^s	$32 \times 4 = 128$ „	$16 \times 4^2 = 256$ „
5^s	$32 \times 5 = 160$ „	$16 \times 5^2 = 400$ „
6^s	$32 \times 6 = 192$ „	$16 \times 6^2 = 576$ „
7^s	$32 \times 7 = 224$ „	$16 \times 7^2 = 784$ „

Отсюда видно, въ какомъ соотношеніи съ высотою паденія находится скорость; припомнимъ (§ 151), что тѣло, брошенное вверхъ съ такою же начальной скоростью, можетъ достичь той же высоты. Тѣло, скорость котораго въ 2, 3, 4, 5 разъ больше, чѣмъ скорость другого, взлетитъ на высоту въ 4, 9, 16, 25 разъ бо̀льшую, чѣмъ та, которой можетъ достичь это другое тѣло[1]). А такъ какъ энергія положенія опредѣляется высотою, то тѣло благодаря своей скорости можетъ получить энергію положенія, пропорціональную второй степени скорости. Особеннаго интереса заслуживаетъ поэтому тотъ фактъ, что Гюйгенсъ спустя мѣсяцъ послѣ того, какъ онъ представилъ Королевскому Обществу свое сочиненіе объ ударѣ, былъ въ состояніи послать дополненіе, въ которомъ онъ приходилъ къ выводу, что при ударѣ упругихъ шаровъ остается неизмѣннымъ еще и нѣчто другое, кромѣ ихъ относительныхъ скоростей. Именно, если вычислить для каждаго изъ двухъ тѣлъ произведеніе

---

[1]) По § 149 $s = \frac{v^2}{2g}$.

http://mathesis.ru

изъ вѣса (массы) на квадратъ скорости и найти сумму этихъ произведеній, то окажется, что эта сумма до и послѣ удара одна и та же[1]). То, что можно было бы назвать энергіей скорости (энергіей движенія), не измѣняется при упругомъ ударѣ.

Это обстоятельство заставляетъ обратить особое вниманіе на то, что энергія тѣла (энергія положенія или энергія движенія) есть нѣчто, остающееся при извѣстныхъ обстоятельствахъ неизмѣннымъ. Впрочемъ, въ то время еще не замѣтили, что это нѣчто остается неизмѣннымъ при всѣхъ обстоятельствахъ, напримѣръ, и при неупругомъ ударѣ, при которомъ энергія движенія можетъ совершенно уничтожиться (§ 178, примѣръ), причемъ на ея мѣсто не появляется энергія положенія. Впослѣдствіи мы увидимъ, что причиною этому служитъ лишь то, что возникаютъ другія формы энергіи, которыя въ то время еще не были извѣстны; мы увидимъ, что сохраненіе энергіи представляетъ собою общій законъ и притомъ, можетъ быть, наиболѣе всеобъемлющій законъ природы изъ всѣхъ извѣстныхъ намъ въ настоящее время. И Гюйгенсу принадлежитъ честь внести существенный вкладъ въ обоснованіе этого закона.

Жидкости

183. Законы равновѣсія жидкостей не были въ точности извѣстны культурнымъ народамъ древности, тѣмъ не менѣе они умѣли использовать нѣкоторыя изъ важнѣйшихъ свойствъ воды. Уже въ глубокой древности прибрежные жители пользовались водою, какъ путемъ сообщенія; судостроительство и мореходство было развито задолго до нашей эры. Объ искусствѣ древнихъ мореплавателей можно судить по тому факту, что за 600 лѣтъ до Р. Х., по повелѣнію египетскаго царя Нехо, финикіяне совершили плаваніе вокругъ Африки (рис. 187). Наряду съ этимъ уже тогда умѣли рыть каналы, строить порты и другія водяныя сооруженія. Какъ на примѣръ, слѣдуетъ

Рис. 187



Плаваніе по Нилу. По изображенію на древнеегипетскихъ гробницахъ близъ гор. Саккара.

указать на древній Суэцкій каналъ, который былъ прорытъ при царѣ Сетосѣ (по Геродоту Сезострисѣ,—ум. въ 1388 г. до Р. Х.). На внѣшней стѣнѣ храма въ Карнакѣ сохранилось изображеніе торжественной встрѣчи, устроенной египтянами полководцу, побѣдоносно возвращающемуся изъ Сиріи. Встрѣча происходитъ вблизи за-

---

[1]) Если массы суть A и B, скорости до удара v и v_1, послѣ удара c и c_1, то

$$Av^2 + Bv_1^2 = Ac^2 + Bc_1^2.$$

http://mathesis.ru

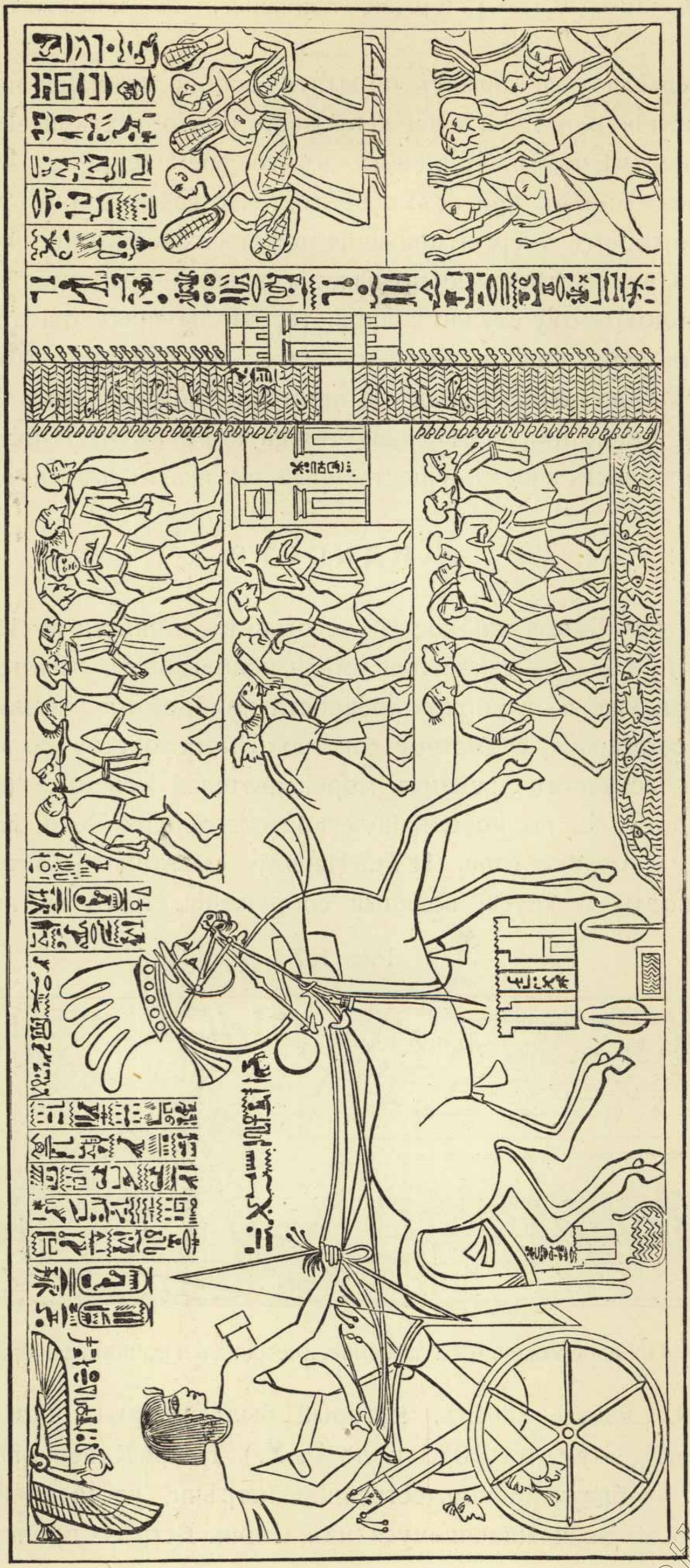


Рис. 188. Суэцкій каналъ царя Сетоса I.

http://mathesis.ru

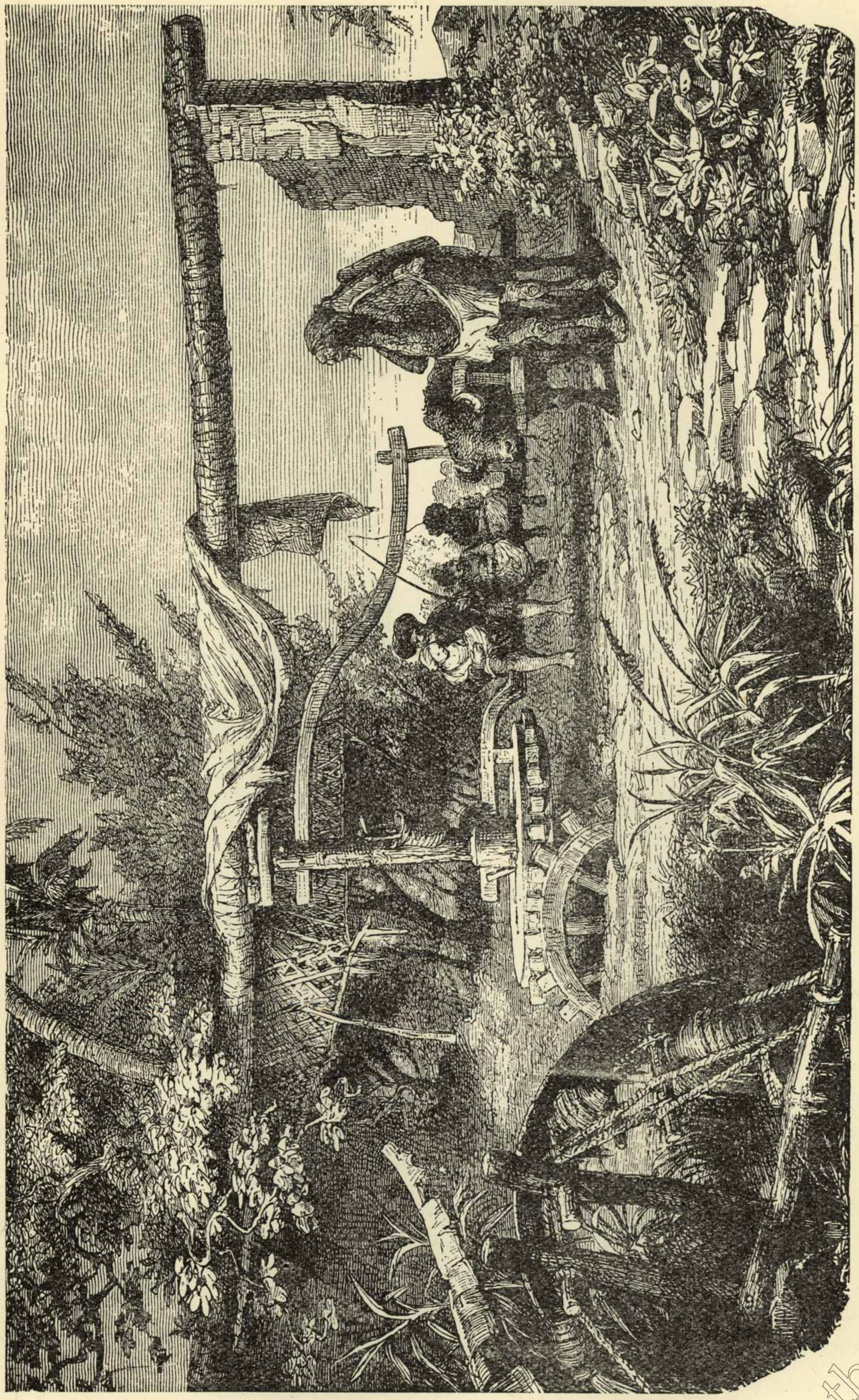


Рис. 189. Водочерпалка въ Египтѣ.

http://mathesis.ru

щищеннаго башнями моста черезъ этотъ каналъ, названный въ надписи „прорѣзомъ“ и обозначенный волнами и рыбами (рис. 188).

Далѣе, у многихъ древнихъ народовъ, жившихъ по берегамъ большихъ рѣкъ, было въ ходу искусственное орошеніе почвы при помощи каналовъ и шлюзовъ. Египтяне, какъ передаютъ греческіе писатели, умѣли также строить водочерпательныя машины и такія же приспособленія были, повидимому, распространены также въ значительной части Азіи. Позднѣе онѣ были перенесены въ Испанію маврами. Водочерпательная машина — водочерпалка — состоитъ изъ колеса съ прикрѣпленными къ его ободу ведрами; при вращеніи колеса ведра въ низшемъ своемъ положеніи наполняются водою, а въ наивысшемъ — опорожняются въ жолобъ. На рис. 189 на переднемъ планѣ слѣва показана такая водочерпалка, встрѣчающаяся въ Египтѣ еще и теперь. Нужно полагать, что древнія водочерпалки мало отличались отъ этихъ. Можно только замѣтить, что время изобрѣтенія зубчатаго колеса неизвѣстно въ точности. Впрочемъ, первыя зубчатыя колеса, о которыхъ до насъ дошли достовѣрныя свѣдѣнія, были найдены также въ Египтѣ, а именно, они нашли примѣненіе въ водяныхъ часахъ, устроенныхъ Ктезибіемъ въ Александріи въ серединѣ II в. до Р. Х.

Наконецъ, водяные часы сами по себѣ свидѣтельствуютъ о томъ, что тогда умѣли уже пользоваться равномѣрнымъ истеченіемъ воды. Правда, относительно указаннаго свойства жидкости не было произведено ни изслѣдованій, ни вычисленій, которыя привели бы къ важнымъ выводамъ. То же самое приходится сказать и о другихъ указанныхъ свойствахъ воды, нашедшихъ уже тогда разнообразныя примѣненія. Можно вообще сказать, что вода, играющая такую важную роль въ очень многихъ явленіяхъ природы, обладаетъ извѣстными свойствами, которыя служили въ ту эпоху дѣтства человѣчества развитію сношеній и культуры, но познакомиться съ которыми можно было и безъ научныхъ изслѣдованій.

И въ этой области Архимедъ (§ 116 и слѣд.) первый установилъ общіе принципы, изъ которыхъ получилось много выводовъ, очень далекихъ отъ того, что первоначально имѣлось въ виду.

184. Витрувій, писавшій о строительномъ искусствѣ въ 13 году до Р. Х., сообщая о нѣкоторыхъ трудахъ Архимеда, разсказываетъ слѣдующее: „Гіеронъ, достигши царской власти, пожелалъ, въ ознаменованіе своихъ успѣховъ, принести въ даръ одному святилищу золотой вѣнокъ. Изготовленіе вѣнка было поручено мастеру, которому для этой цѣли было отпущено опредѣленное количество золота. Къ назначенному сроку мастеръ принесъ царю прекрасно сработанный вѣнокъ, вѣсъ котораго вполнѣ соотвѣтствовалъ вѣсу выданнаго золота. Спустя нѣкоторое время царю донесли, что на вѣнокъ употреблена лишь часть выданнаго золота, остальная же часть похищена и замѣнена серебромъ равнаго вѣса. Царь, разгнѣванный мыслью объ обманѣ и не зная, какимъ путемъ обнаружить утайку золота, поручилъ Архимеду провѣрить доносъ и найти улики. Погруженный въ размышленія объ этомъ дѣлѣ, Архимедъ однажды отправился принять ванну. Опускаясь въ воду, онъ замѣтилъ, что изъ ванны выливалось тѣмъ больше воды, чѣмъ больше онъ погружался въ нее. Сообразивъ истинную причину этого явленія, Архимедъ въ сильномъ возбужденіи быстро выскочилъ изъ ванны и нагишомъ побѣжалъ домой, восклицая:

http://mathesis.ru

„εὕρηκα, εὕρηκα“ (нашелъ, нашелъ!). Позднѣе къ этому восклицанію прибѣгали несчетное число разъ и при гораздо менѣе важныхъ открытіяхъ.

Какъ для царя, такъ и для Архимеда затрудненіе заключалось собственно въ слѣдующемъ. Они, разумѣется, знали, что золото очень тяжеловѣсно; вѣроятно, они знали также, что оно примѣрно разъ въ 20 тяжелѣе равнаго объема воды. Въ слиткѣ, который былъ выданъ мастеру, нетрудно было, конечно, опредѣлить и вѣсъ и, пожалуй, объемъ. Но какъ найти объемъ вѣнка, состоящаго изъ тонкихъ изогнутыхъ листочковъ? Это-то именно и сообразилъ Архимедъ, погружаясь въ ванну. Наполнивъ сосудъ водою, пока она не стала вытекать изъ продѣланнаго сбоку отверстія, Архимедъ погрузилъ туда вѣнокъ и собралъ вытекшую изъ отверстія воду. Объемъ этой воды равнялся, разумѣется, объему вѣнка. Еслибъ послѣдній былъ сдѣланъ изъ чистаго золота, то вѣсъ вытекшей воды равнялся бы $^1/_{20}$ вѣса вѣнка. Оказалось, однако, что вытѣсненная вода вѣсила больше, такъ что вѣсъ вѣнка былъ не въ 20 разъ больше вѣса этой воды. Слѣдовательно, вѣнокъ былъ сдѣланъ не изъ чистаго золота.

Для простоты положимъ, что вѣнокъ вѣсилъ 20 фунтовъ и что онъ вытѣснилъ не 1 ф. воды, а $1^1/_4$ ф. Принявъ, что серебро въ 10 разъ тяжелѣе вытѣсняемой имъ воды, Архимеду не трудно было вычислить, что въ вѣнкѣ было 5 ф. серебра. Дѣйствительно, 5 ф. серебра вытѣсняютъ $^1/_{10} \times 5$ ф. $= {}^1/_2$ ф. воды; въ то же время 15 ф. золота вытѣсняютъ $^1/_{20} \times 15$ ф. $= {}^3/_4$ ф. воды; такимъ образомъ, золото и серебро вмѣстѣ вытѣсняютъ $1^1/_4$ ф. воды[1]).

185. Изложенный случай побудилъ Архимеда заняться изслѣдованіемъ вопроса о плаваніи тѣлъ. Онъ написалъ объ этомъ предметѣ превосходное сочиненіе, сохранившаяся часть котораго свидѣтельствуетъ о томъ, что и въ этой области онъ разрѣшалъ самые трудные вопросы со свойственной ему увѣренностью.

Онъ начинаетъ съ разсмотрѣнія условій равновѣсія жидкости. Если жидкость находится въ равновѣсіи, то любая ея частица должна испытывать одинаковое давленіе со всѣхъ сторонъ. Въ самомъ дѣлѣ, еслибы давленіе на одну какую-либо сторону ея было больше, чѣмъ на другую, то частица должна была бы придти въ движеніе, такъ какъ окружающія ее частицы не оказываютъ сопротивленія ея перемѣщенію. Архимедъ далѣе доказываетъ, что, еслибы наша земля состояла изъ воды, то она имѣла бы шаровидную поверхность. Дѣйствительно, если вообразить себѣ, что этотъ водяной шаръ составленъ изъ одинаковыхъ пирамидъ, вершины которыхъ сходятся въ центрѣ, а основанія лежатъ на поверхности шара, то всѣ онѣ будутъ устремляться къ центру и смогутъ уравновѣсить другъ друга только въ томъ случаѣ, если ихъ высоты будутъ одинаковы; отсюда слѣдуетъ, что поверхность должна быть шаровой (рис. 190). Вслѣдствіе же того, что этотъ шаръ весьма великъ, небольшая часть его поверхности по виду почти не будетъ отличаться отъ плоскости (напримѣръ, поверхность воды въ озерѣ, въ прудѣ или въ сосудѣ, ср. § 24).

---

[1]) Если въ вѣнкѣ было x ф. серебра, то золота въ немъ заключалось $20 - x$ ф. Фунтъ серебра вытѣсняетъ $^1/_{10}$ ф. воды, x ф. серебра вытѣснятъ $x/10$ ф. воды. Такимъ же образомъ найдемъ, что $20 - x$ ф. золота вытѣснятъ $\frac{20-x}{20}$ ф. воды. Все же количество вытѣсненной воды равно $1^1/_4$ ф. Такимъ образомъ мы получаемъ уравненіе: $\frac{x}{10} + \frac{20-x}{20} = 1^1/_4$, откуда $x = 5$.

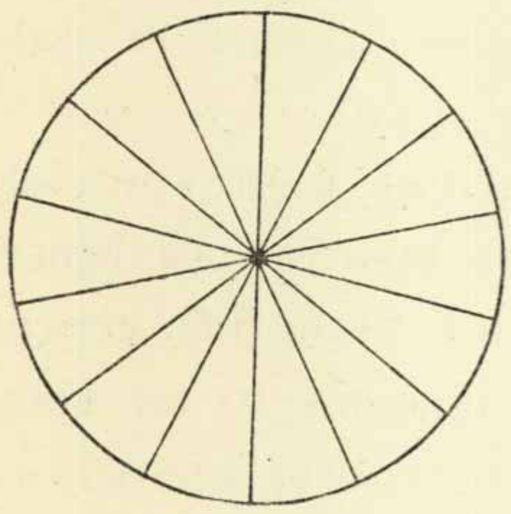
http://mathesis.ru

186. Если опустить въ воду тѣло, имѣющее точно такой же вѣсъ, какой имѣетъ равный ему объемъ воды, то оно совершенно погрузится въ нее (рис. 191, a), такъ какъ, имѣя вѣсъ вытѣсненной воды, оно оказываетъ своимъ вѣсомъ точно такое же давленіе на воду, какое оказываетъ и сама вода, мѣсто которой оно заняло.

Если же тѣло легче воды (рис. 191, b), то оно погружается въ воду не цѣликомъ, а лишь нѣкоторой частью — такою именно, что вытѣсненная ею вода имѣетъ вѣсъ, равный вѣсу всего тѣла.

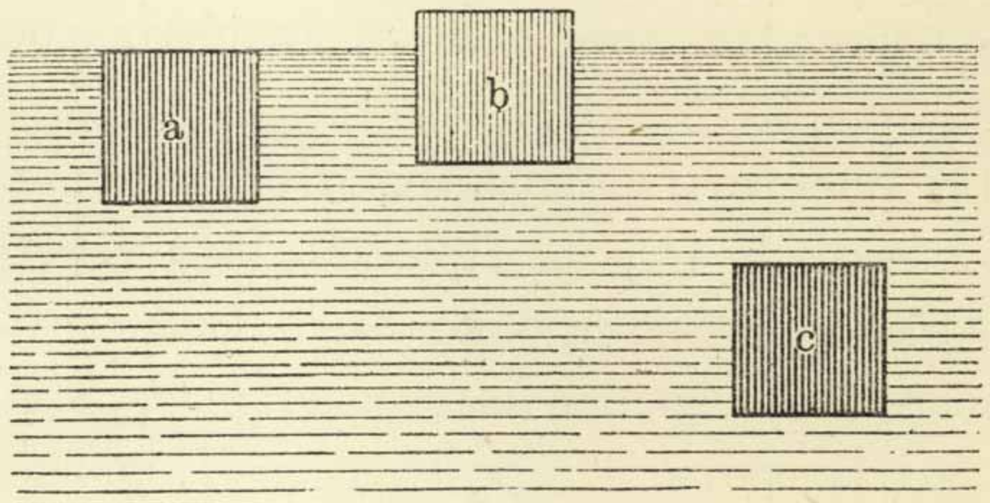
Если, наконецъ, тѣло тяжелѣе равнаго объема воды (рис. 191, c), то оно погружается совершенно и опускается, сколько возможно. При этомъ оно теряетъ лишь часть своего вѣса, между тѣмъ какъ тѣла *a* и *b* теряютъ весь свой вѣсъ.

Рис. 190



Равновѣсіе въ водяномъ шарѣ.

Рис. 191



Уменьшеніе вѣса тѣлъ въ водѣ.

Такимъ образомъ, во всѣхъ трехъ случаяхъ имѣетъ мѣсто слѣдующее положеніе: при погруженіи въ воду тѣло теряетъ въ своемъ вѣсѣ столько, сколько вѣситъ вытѣсненная имъ вода. Въ самомъ дѣлѣ, остальная вода поддерживала бы эту именно, вытѣсненную тѣломъ, массу воды, т. е. давила бы на нее снизу вверхъ. а отъ давленія снизу вверхъ на тѣло, замѣстившее воду, получится такой же результатъ, какъ будто тѣло соотвѣтственно потеряло въ своемъ вѣсѣ. Это важное положеніе и носитъ названіе закона Архимеда.

Примѣръ 1. Сколько литровъ воды вытѣсняетъ деревянный брусъ вѣсомъ въ 60 *кг*, плавающій въ водѣ?

Примѣръ 2. Объемъ камня равенъ $^1/_4$ *кбм*. Опредѣлить, на сколько уменьшится вѣсъ, если опустить его въ воду?

Примѣръ 3. Яйцо нѣсколько тяжелѣе прѣсной воды, но легче соленой. Что съ нимъ произойдетъ при погруженіи въ прѣсную воду и при погруженіи въ соленую?

187. Въ указанномъ сочиненіи Архимедъ, такимъ образомъ, точно выяснилъ основное положеніе относительно равновѣсія жидкостей и самъ же воспользовался имъ для вывода условій равновѣсія плавающихъ тѣлъ и для установленія закона, носящаго его имя. Однако, сочиненіе его, хотя и не осталось незамѣченнымъ, не было понято, такъ что открытые имъ законы пришлось открывать вторично. Это было сдѣлано въ концѣ XVI столѣтія Стевиномъ (§ 132), который геніально обосновалъ гидростатику, т. е. науку о равновѣсіи и давленіи воды. Сочиненіе его объ этомъ предметѣ появилось въ 1585 г. на голландскомъ языкѣ.

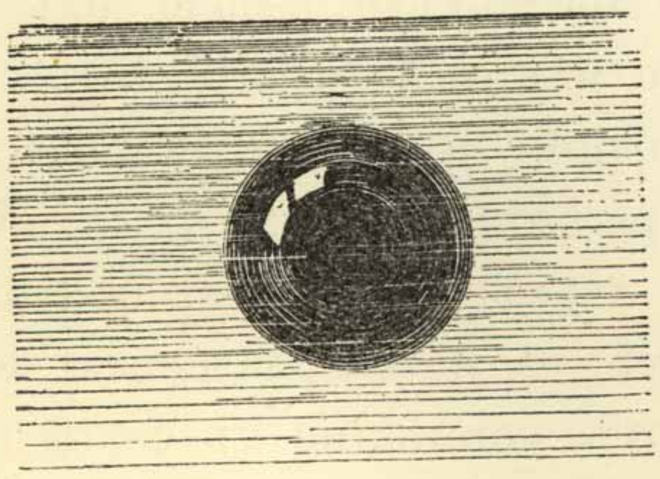
http://mathesis.ru

Прежде всего онъ устанавливаетъ слѣдующее: любая частица неподвижной массы воды должна находиться въ равновѣсіи въ любомъ мѣстѣ этой массы; въ противномъ случаѣ эта частица пришла бы въ движеніе и ея мѣсто заняла бы другая частица, которая, такимъ образомъ, также вышла бы изъ состоянія равновѣсія; мѣсто этой частицы заняла бы тогда въ свою очередь новая и т. д. до безконечности; вся масса воды находилась бы, слѣдовательно, въ состояніи непрерывнаго движенія, т. е. получилось бы perpetuum mobile, что̀ представляетъ нелѣпость. Эта часть разсужденія напоминаетъ, очевидно, цѣпь Стевина на треугольникѣ (см. § 136). Отсюда вытекаетъ, что всякая частица спокойной жидкости поддерживается остальной водой. Но для этого должна существовать сила, дѣйствующая снизу вверхъ и уравновѣшивающая вѣсъ частицы. Если мы теперь вообразимъ, что разсматриваемая частица воды отвердѣла или закрѣплена неподвижно, то окружающая жидкость будетъ попрежнему давить на нее, при чемъ и давленіе снизу вверхъ останется прежнее. Еслибы, наконецъ, вещество, составляющее отвердѣвшую частицу, стало тяжелѣе или легче, то и тогда давленіе снизу вверхъ, оказываемое на нее окружающей жидкостью, не измѣнилось бы.

Замѣчательно, какъ далеко можно пойти съ этими простыми и безспорными основными положеніями. Въ самомъ дѣлѣ, ихъ достаточно для развитія всей гидростатики.

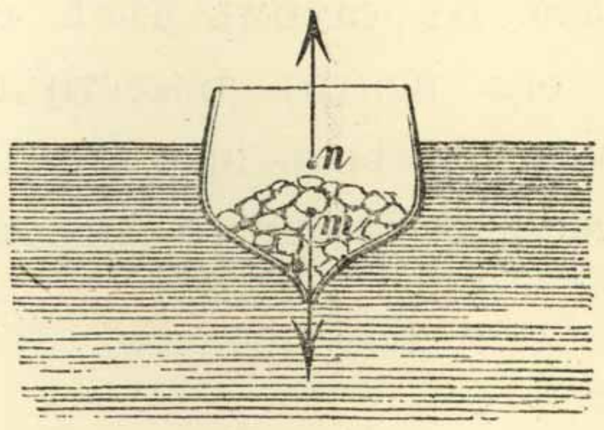
188. Положимъ, что частица воды находится въ окружающей водѣ въ равновѣсіи (рис. 192). Въ такомъ случаѣ должна существовать сила, давящая на нее снизу вверхъ, т. е. поддерживающая ее, и равная ея вѣсу. То же самое имѣло бы мѣсто и въ томъ случаѣ, еслибы оболочка этой частицы отвердѣла, а заключенная въ ней вода была бы замѣнена ртутью, оловомъ, камнемъ, свинцомъ или другимъ веществомъ;

Рис. 192



Давленіе жидкости на тѣло снизу вверхъ.

Рис. 193



Плавающее тѣло (поперечный разрѣзъ судна).

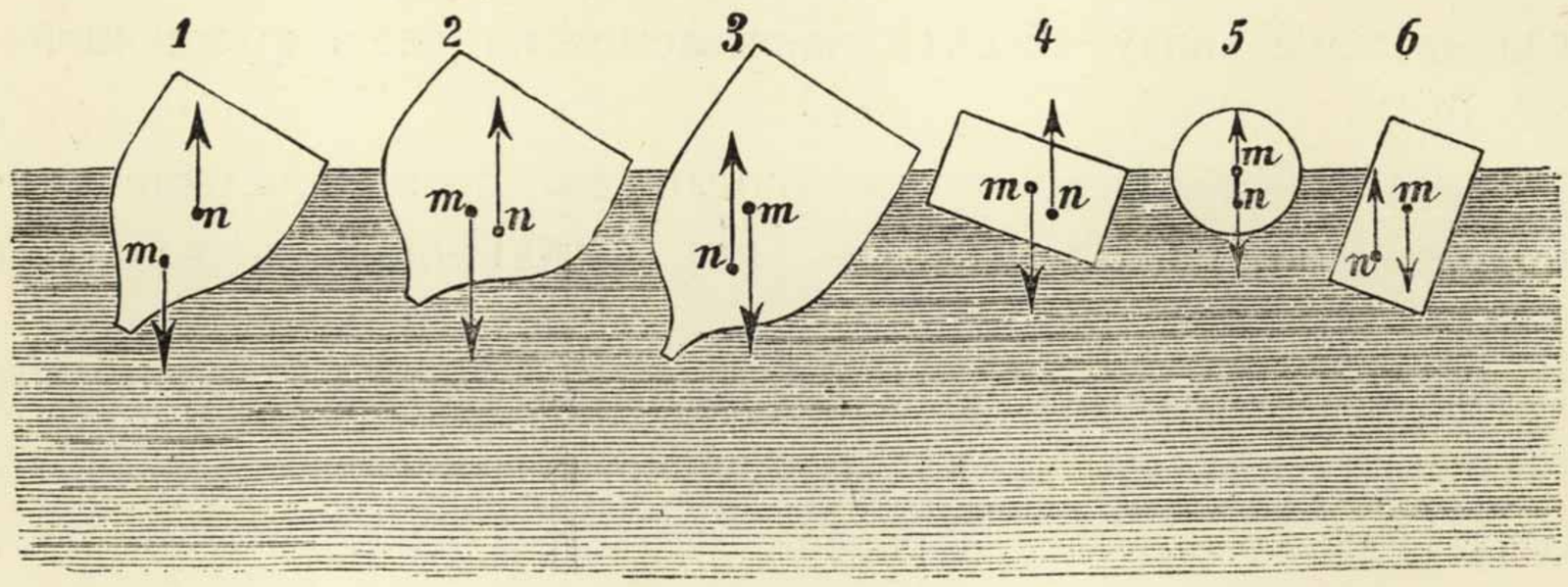
во всѣхъ этихъ случаяхъ давленіе снизу вверхъ со стороны окружающей жидкости остается то же самое. Подъ дѣйствіемъ своего вѣса эта оболочка съ содержащимся въ ней веществомъ будетъ стремиться падать внизъ, между тѣмъ какъ сила, равная вѣсу вытѣсняемой ею воды, будетъ оказывать на нее давленіе снизу вверхъ (законъ Архимеда),—и это тѣло либо будетъ плавать на поверхности, либо останется внутри жидкости въ равновѣсіи, либо, наконецъ, опустится на дно, соотвѣтственно тому, будетъ ли его вѣсъ меньше вѣса такого же объема воды, равенъ этому вѣсу или больше его.

189. Положеніе о плавающихъ тѣлахъ, изложенное въ предыдущемъ §, было

http://mathesis.ru

высказано уже Аристотелемъ; Стевинъ къ этому прибавилъ еще слѣдующее. Пусть m центръ тяжести плавающаго тѣла (рис. 193). Подъ дѣйствіемъ тяжести оно стремится внизъ по отвѣсу. Въ свою очередь вытѣсненная вода тоже должна имѣть свой центръ тяжести n, который является точкой приложенія силы давленія окружающей воды, „центромъ давленія“. Если эти двѣ силы, приложенныя въ точкахъ m и n, равны, то плавающее тѣло будетъ въ равновѣсіи лишь въ томъ случаѣ, когда эти точки будутъ находиться на одной вертикальной линіи. Относительно же различныхъ видовъ равновѣсія (§ 128) Стевинъ указываетъ, что устойчивое равновѣсіе возможно лишь при условіи, когда центръ тяжести тѣла находится ниже центра давленія (центра тяжести вытѣсненной воды). Рис. 194, 1 показываетъ, что въ этомъ случаѣ тѣло дѣйствительно будетъ въ устойчивомъ равновѣсіи: силы, приложенныя въ точкахъ m и n, заставляютъ наклонившееся тѣло вернуться въ положеніе равновѣсія.

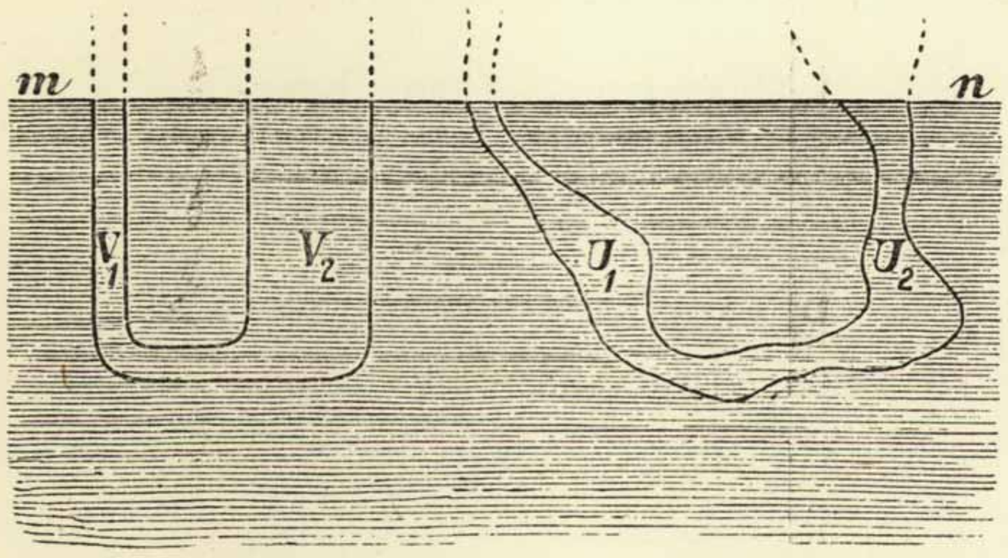
Рис. 194



Плавающія тѣла въ устойчивомъ (1, 2, 4), въ неустойчивомъ (3, 6) и въ безразличномъ (5) равновѣсіи.

Впрочемъ, для устойчивости равновѣсія это условіе можетъ и не быть выполнено съ самаго начала. Въ самомъ дѣлѣ, если даже плавающее тѣло вышло изъ положенія равновѣсія, его центръ тяжести сохраняетъ свое мѣсто въ тѣлѣ. Вытѣсненная же вода, напротивъ, имѣетъ при этомъ уже другую форму и ея центръ тяжести (центръ давленія) вслѣдствіе этого перемѣщается. А при этомъ можетъ случиться одно изъ двухъ: либо сила, приложенная въ точкѣ n и направленная вертикально вверхъ, совмѣстно съ силой тяжести тѣла, приложенной въ точкѣ m, возвращаютъ тѣло въ положеніе равновѣсія (рис. 194, 2 и 4), либо же, наоборотъ, еще больше удаляютъ его отъ этого положенія (рис. 194, 3 и 6). Въ случаѣ шара точки m и n всегда находятся на одной вертикальной линіи и шаръ, такимъ образомъ, всегда сохраняетъ безразличное равновѣсіе.

Рис 195



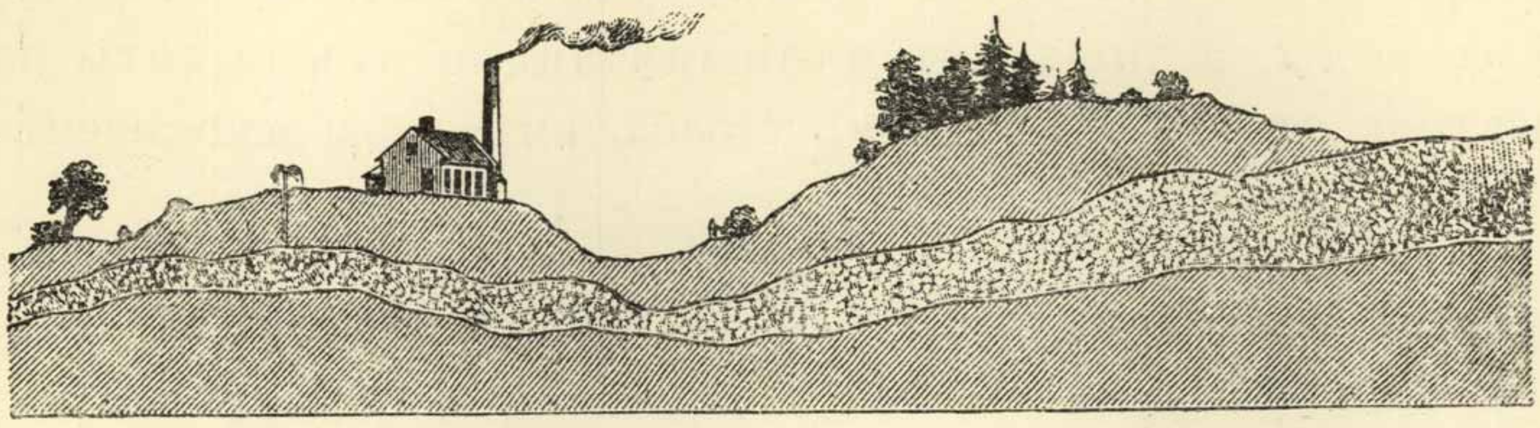
Законъ сообщающихся сосудовъ (Стевинъ).

190 Далѣе Стевинъ разсуждаетъ слѣдующимъ образомъ. Выдѣлимъ мысленно въ водѣ съ уровнемъ $m\,n$ (рис. 195) ограниченный объемъ $V_1\,V_2$ и предположимъ сначала, что его поверхность не мѣшаетъ частицамъ воды свободно передвигаться. Ни

http://mathesis.ru

одна часть этой массы воды при этихъ условіяхъ не обнаружитъ стремленія перемѣщаться. Дѣло не измѣнилось бы и въ томъ случаѣ, еслибы поверхность выдѣленной массы воды сразу отвердѣла. Еслибы это случилось, то можно было бы, понятно, удалить воду, находящуюся внѣ нашей ограничивающей поверхности, нисколько не нарушая равновѣсія частицъ, заключающихся внутри ея. Мы имѣемъ тогда сообщающіеся сосуды; въ такихъ сосудахъ вода стоитъ на одинаковой высотѣ, т. е. уровень ея находится въ одной и той же горизонтальной плоскости. То, что сказано относительно V_1 V_2, можно буквально повторить относительно U_1 U_2; другими словами,

Рис. 196



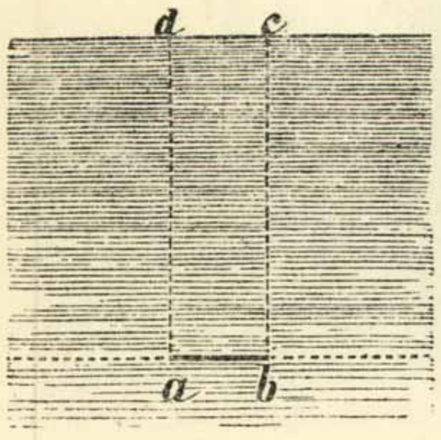
Артезіанскій колодецъ.

законъ сообщающихся сосудовъ приложимъ къ сосудамъ любой формы. Этотъ фактъ былъ уже небезызвѣстенъ во времена Стевина. У Архимеда мы находимъ даже объясненіе этого явленія. Однако, слѣдуетъ отмѣтить оригинальное объясненіе Стевина.

На принципѣ сообщающихся сосудовъ основано устройство артезіанскихъ колодцевъ. Если слой песку ограниченъ сверху и снизу слоемъ глины, извести или другой непроницаемой для воды породы (рис. 196), то черезъ буровую скважину вода можетъ подыматься до поверхности земли или даже выше.

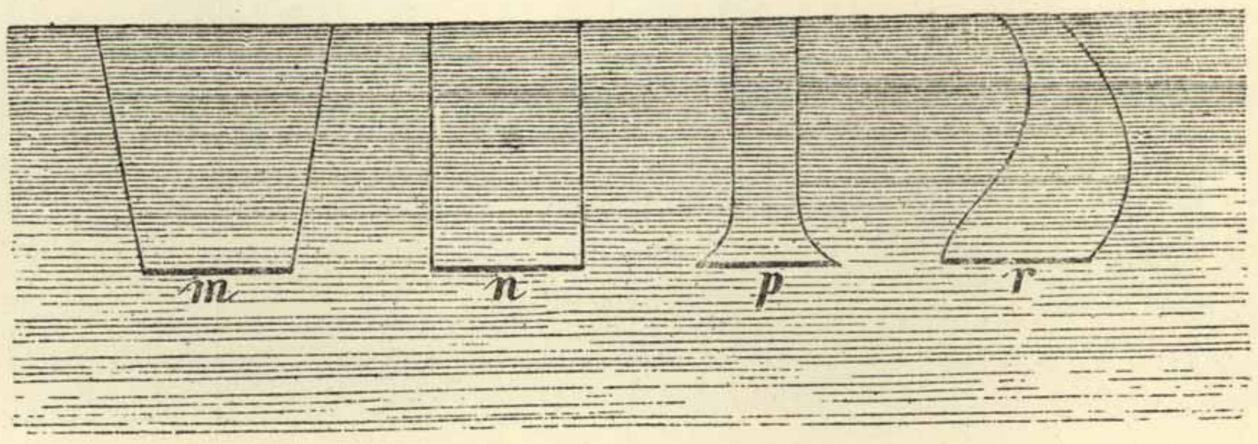
191. Аналогичнымъ образомъ Стевинъ объяснялъ давленіе воды на поверхность тѣлъ, погруженныхъ въ воду. Онъ начинаетъ съ указанія, что горизонтальная пластинка $a\,b$, помѣщенная въ водѣ (рис. 197), должна испытывать давленіе, равное

Рис. 197



Давленіе на пластинку въ водѣ.

Рис. 198



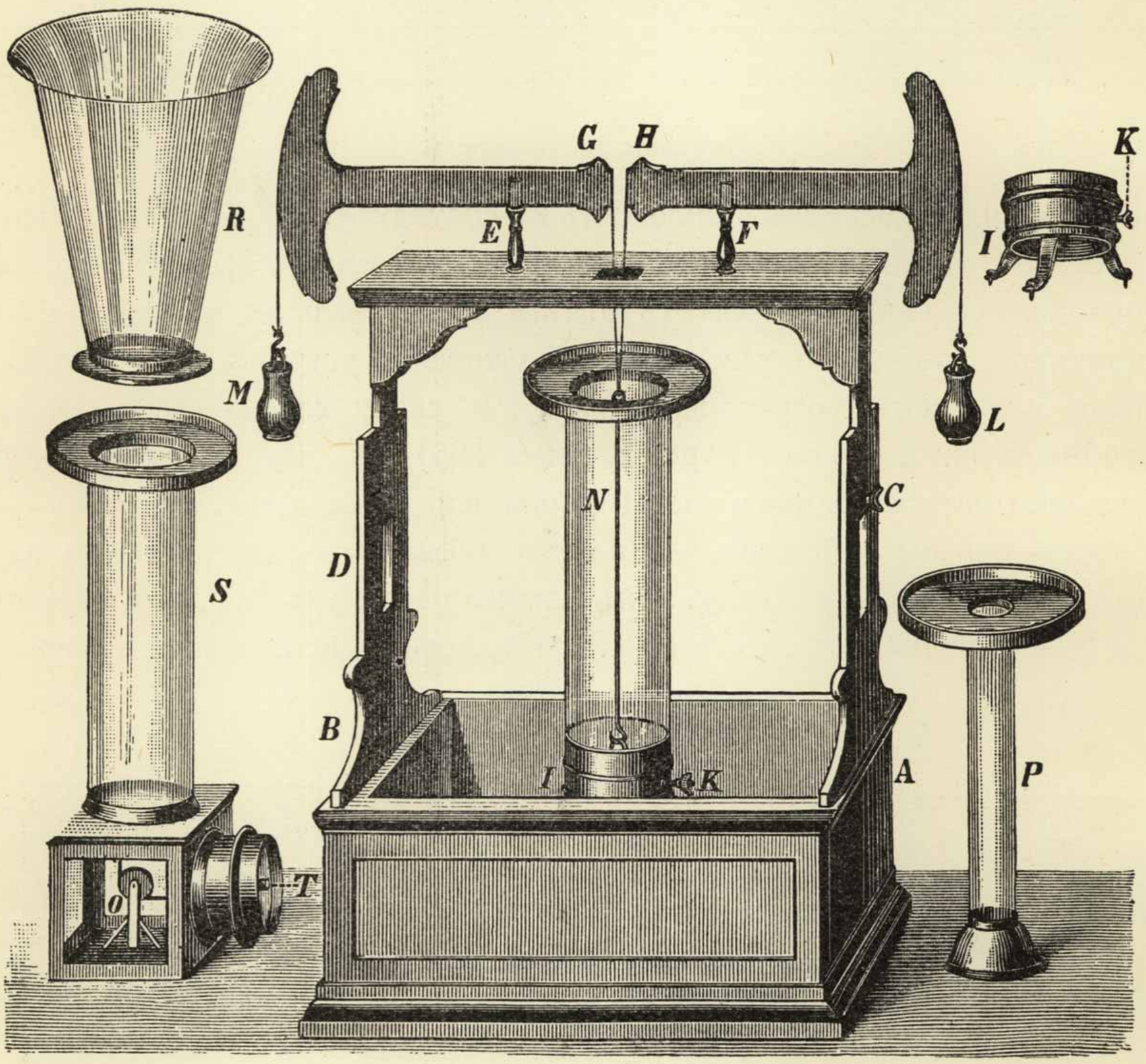
Гидростатическій парадоксъ (Стевинъ).

вѣсу водяного столба $a\,b\,c\,d$, основаніе котораго есть $a\,b$, а высота $a\,d$. Въ самомъ дѣлѣ, если представить себѣ, что пластинка $a\,b$ служитъ дномъ большого сосуда, то она должна выдерживать давленіе массы воды, находящейся въ сосудѣ, и каждая часть дна должна, разумѣется, выдерживать соотвѣтствующую часть этого давленія. Если вообразить себѣ одинаковыя горизонтальныя площади (рис. 198) m, n, p, r, расположенныя на одной и той же глубинѣ, то давленіе на всѣ эти площади должно

http://mathesis.ru

быть одинаково и должно равняться вѣсу водяного столба, находящагося надъ каждой площадью. Вообразимъ себѣ теперь нѣсколько поверхностей различной формы (см. рис.), не препятствующихъ перемѣщенію частицъ воды. Частицы и теперь будутъ занимать такое же расположеніе и будутъ производить то же давленіе. Если-бы эти поверхности внезапно отвердѣли, не измѣняя своего положенія, то относительно воды все осталось бы попрежнему. Если, наконецъ, удалить воду, находящуюся внѣ сосудовъ, то останутся сосуды, наполненные до одной и той же высоты, но имѣющіе различныя формы. Во всѣхъ этихъ сосудахъ дно испытываетъ одно и то же давленіе. Такимъ образомъ, оказывается, что давленіе на дно сосуда, наполненнаго водой, зависитъ не отъ формы сосуда и не отъ количества содержащейся въ немъ воды, а лишь отъ площади дна и отъ высоты воды въ сосудѣ. Это давленіе равно вѣсу водяного столба, имѣющаго основаніемъ дно сосуда,

Рис. 199



Такъ называемый сосудъ Паскаля, построенный Стевиномъ.

а высотой — высоту жидкости въ сосудѣ. Это положеніе получило названіе „гидростатическаго парадокса“ ввиду того, что дно сосуда можетъ испытывать небольшое давленіе при большомъ количествѣ воды и, наоборотъ, значительное давленіе при маломъ количествѣ воды.

192. Чтобы провѣрить на опытѣ справедливость этого положенія, Стевинъ построилъ приборъ, изображенный на рис. 199. Надъ сосудомъ AB находится перекладина, которую можно подымать и опускать, а также закрѣплять неподвижно при

http://mathesis.ru

помощи винтовъ C и D. На подставкахъ E и F расположено по рычагу, къ внѣшнимъ дугообразнымъ концамъ которыхъ можно привѣшивать произвольные грузы. Внутренніе концы рычаговъ соединены со стержнемъ N при помощи шнурка.

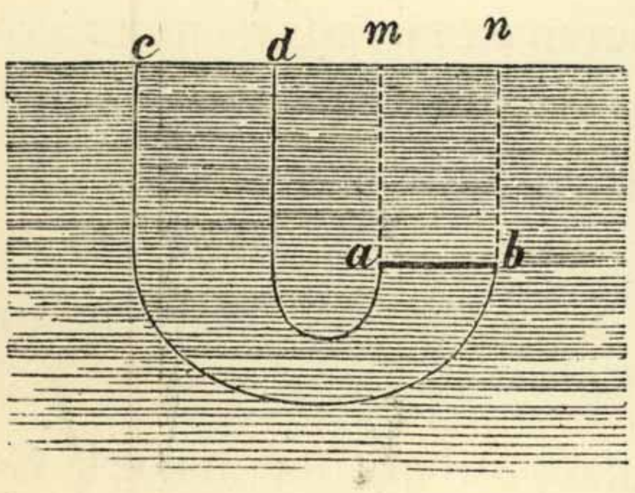
На днѣ сосуда помѣщается на треножникѣ низкій цилиндръ IK, внутри котораго движется плотно пригнанный поршень, скрѣпленный со стержнемъ N. На цилиндръ IK можно навинчивать различныя трубки, образующія вмѣстѣ съ нимъ сосудъ, въ который наливается вода. На рисункѣ показанъ тотъ случай, когда на IK навинчена цилиндрическая трубка. Замѣняя ее трубкой P, получимъ сосудъ съ тѣмъ же основаніемъ, но съ болѣе узкой верхней частью. Если же навинтить трубку R, то полученный сосудъ будетъ вверху значительно шире, чѣмъ первый.

Опыты съ этими сосудами и показываютъ, что вода, уравновѣшивающая грузы L и M, во всѣхъ трехъ случаяхъ имѣетъ одну и ту же высоту; количество же воды въ каждомъ изъ этихъ случаевъ совершенно различное. Приборъ этотъ обыкновенно носитъ названіе прибора Паскаля, такъ какъ Паскаль построилъ и описалъ сходный приборъ, не будучи знакомъ съ работой Стевина.

193. Стевинъ показалъ далѣе, что давленіе на малую поверхность внутри воды всегда остается одинаковымъ, независимо отъ ея положенія. Дѣйствительно, частица воды должна испытывать одинаковое давленіе со всѣхъ сторонъ, если только мы представляемъ ее себѣ столь малой, что можемъ пренебречь ея собственнымъ вѣсомъ. Если она находится, напримѣръ, на ребрѣ боковой стѣнки и дна сосуда, то она должна давить съ одинаковой силой какъ на стѣнку, такъ и на дно. Это можетъ быть доказано при помощи прибора S (рис. 199), которымъ для этой цѣли слѣдуетъ замѣнить сосудъ IKN. Прикрѣпленный однимъ концомъ къ рычагамъ G и H шнурокъ (при помощи блока O шнурку даютъ горизонтальное положеніе) другимъ своимъ концомъ привязанъ къ поршню, который движется внутри цилиндра одинаковаго діаметра съ IK; поверхность этого поршня отвѣсна. При этомъ оказывается, что давленіе на стѣнку равно давленію на дно, если уровень воды въ сосудѣ теперь настолько выше середины поршня T, насколько прежде, когда поверхность дна IK была горизонтальна, онъ былъ выше этой поверхности.

194. При помощи разсужденія, которымъ такъ часто пользуется Стевинъ, не трудно также доказать, что вода оказываетъ давленіе и снизу вверхъ. Площадь ab (рис. 200) испытываетъ сверху давленіе, равное вѣсу водяного столба $abmn$. Но съ другой стороны, эта поверхность должна испытывать такое же давленіе и снизу, иначе она пришла бы въ движеніе. Выдѣлимъ мысленно объемъ воды $abcd$ и представимъ себѣ, что ограничивающая его поверхность не препятствуетъ перемѣщенію воды и затѣмъ отвердѣваетъ. Представимъ себѣ, наконецъ, что остальная вода удалена. Тогда площадь ab будетъ испытывать давленіе снизу вверхъ, величина котораго опредѣлится размѣрами площади и ея разстояніемъ отъ уровня mn или cd.

Рис. 200



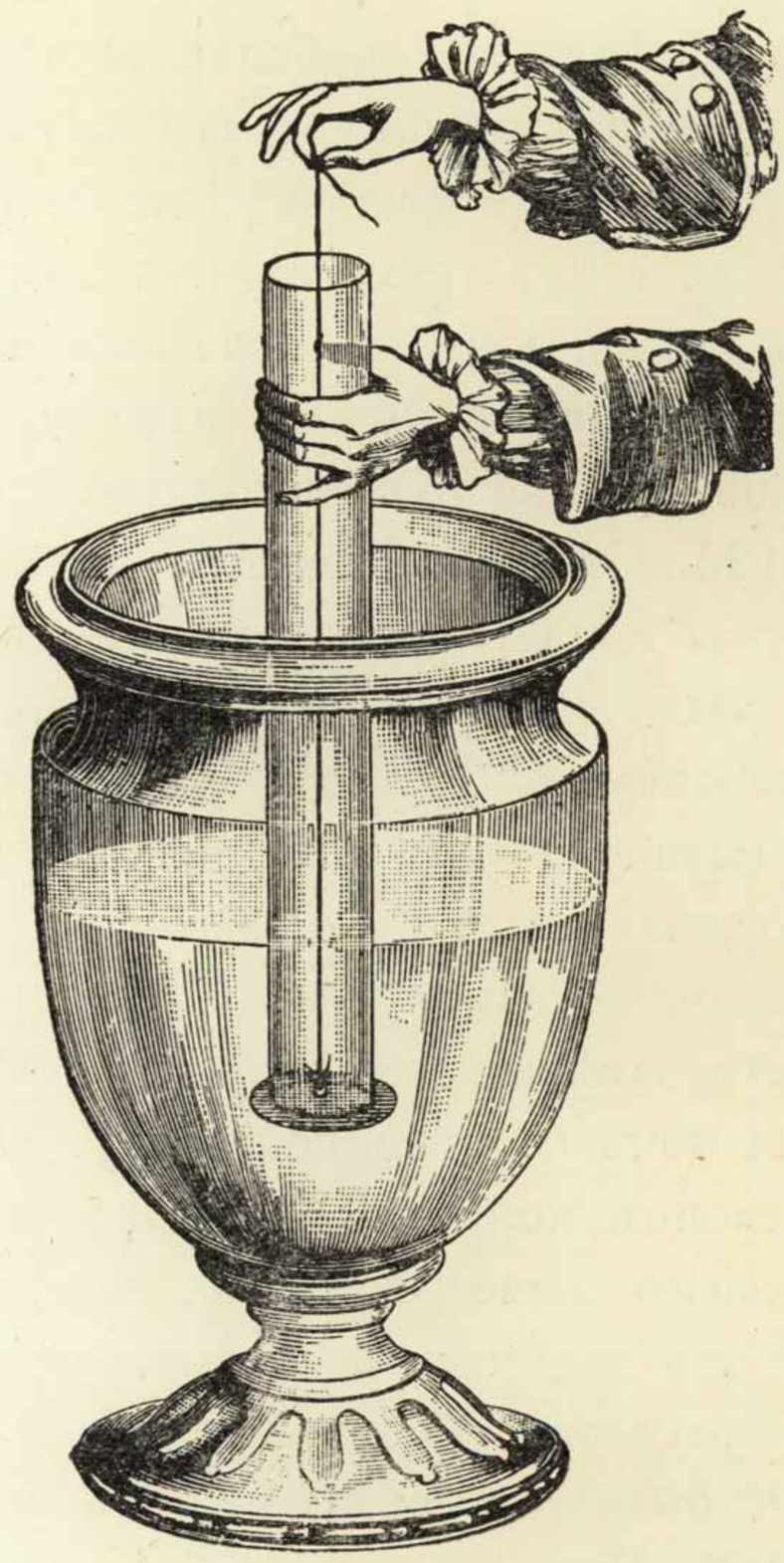
Объясненіе давленія снизу вверхъ по Стевину.

Для нагляднаго поясненія этого положенія Стевинъ придумалъ и приборъ, который иногда неправильно называютъ клапаномъ Бойля (рис. 201). Стеклянная

http://mathesis.ru

трубка, нижній конецъ которой гладко отшлифованъ, закрывается металлической пластинкой и опускается въ воду. Металлическая пластинка поддерживается давленіемъ воды. Если теперь осторожно сыпать на эту пластинку дробь до тѣхъ поръ, пока пластинка не отпадетъ, то окажется, что это произойдетъ въ тотъ моментъ, когда общій вѣсъ дроби и пластинки станетъ равнымъ вѣсу количества воды, нужнаго для наполненія трубки до уровня воды въ сосудѣ. На рисункѣ показана нить, при помощи которой придерживаютъ пластинку,

Рис. 201



Такъ называемый клапанъ Бойля, изобрѣтенный Стевиномъ

пока трубка не погрузится на столько, что пластинка будетъ поддерживаться уже давленіемъ воды.

195. Эти работы Стевина вдохнули новую жизнь въ гидростатику, которая со временъ Архимеда не сдѣлала никакихъ успѣховъ. Этотъ знаменитый голландецъ, смотритель водяныхъ сооруженій, сумѣлъ изъ данныхъ основныхъ положеній вывести дальнѣйшія слѣдствія, имѣвшія огромное значеніе въ практикѣ водяныхъ сооруженій.

196. При помощи незначительнаго количества воды, помѣщенной въ длинной узкой трубкѣ, можно получить огромное давленіе. Вставивъ въ верхнее дно боченка достаточно длинную трубку и наполнивъ боченокъ и трубку водой, можно разорвать боченокъ давленіемъ воды. Каждый квадратный сантиметръ стѣнки и верхняго дна боченка испытываетъ давленіе, приблизительно равное давленію на квадратный сантиметръ нижняго дна при условіи, что длина трубки весьма значительна въ сравненіи съ высотой боченка.

На рис. 202 изображенъ кожаный мѣшокъ, наполненный водой. Мѣшокъ снабженъ узкой трубкой, направленной вверхъ; поверхъ мѣшка лежитъ деревянная доска, на которой стоитъ человѣкъ; тяжестью своего тѣла онъ заставляетъ воду подыматься въ трубкѣ; вода подымается, однако, совсѣмъ невысоко. Если, напримѣръ, поверхность соприкасанія между доской и мѣшкомъ равна 10 *квдм*, а вѣсъ человѣка 75 *кг*, то вода въ трубкѣ поднимется только на высоту 7·5 *дм*, такъ какъ $10 \times 7{\cdot}5 = 75$ *кбдм* воды вѣсятъ 75 *кг*. Человѣкъ, стоящій на мѣшкѣ, въ состояніи самъ поднять себя, вдувая воздухъ въ трубку.

197. Давленіе воды на вертикальную поверхность, напримѣръ, на шлюзъ Стевинъ объяснялъ слѣдующимъ образомъ.

Боковое давленіе на малую поверхность a_1 (рис. 203) равно давленію слоя воды съ основаніемъ a_1 и высотой, равной разстоянію этого слоя отъ поверхности воды $MP = MN$. Поверхность a_1 испытываетъ, слѣдовательно, такое же давленіе, какъ еслибы слой воды $a_1 b_1$ давилъ наружу (по направленію стрѣлки) съ

http://mathesis.ru

силой, равной вѣсу этого слоя воды. Точно также давленіе на a_2 равно вѣсу водяного слоя $a_2 b_2$ и т. д. Общее давленіе на поверхность $MNSR$ равно, такимъ образомъ, вѣсу водяной призмы $PMNSRO$.

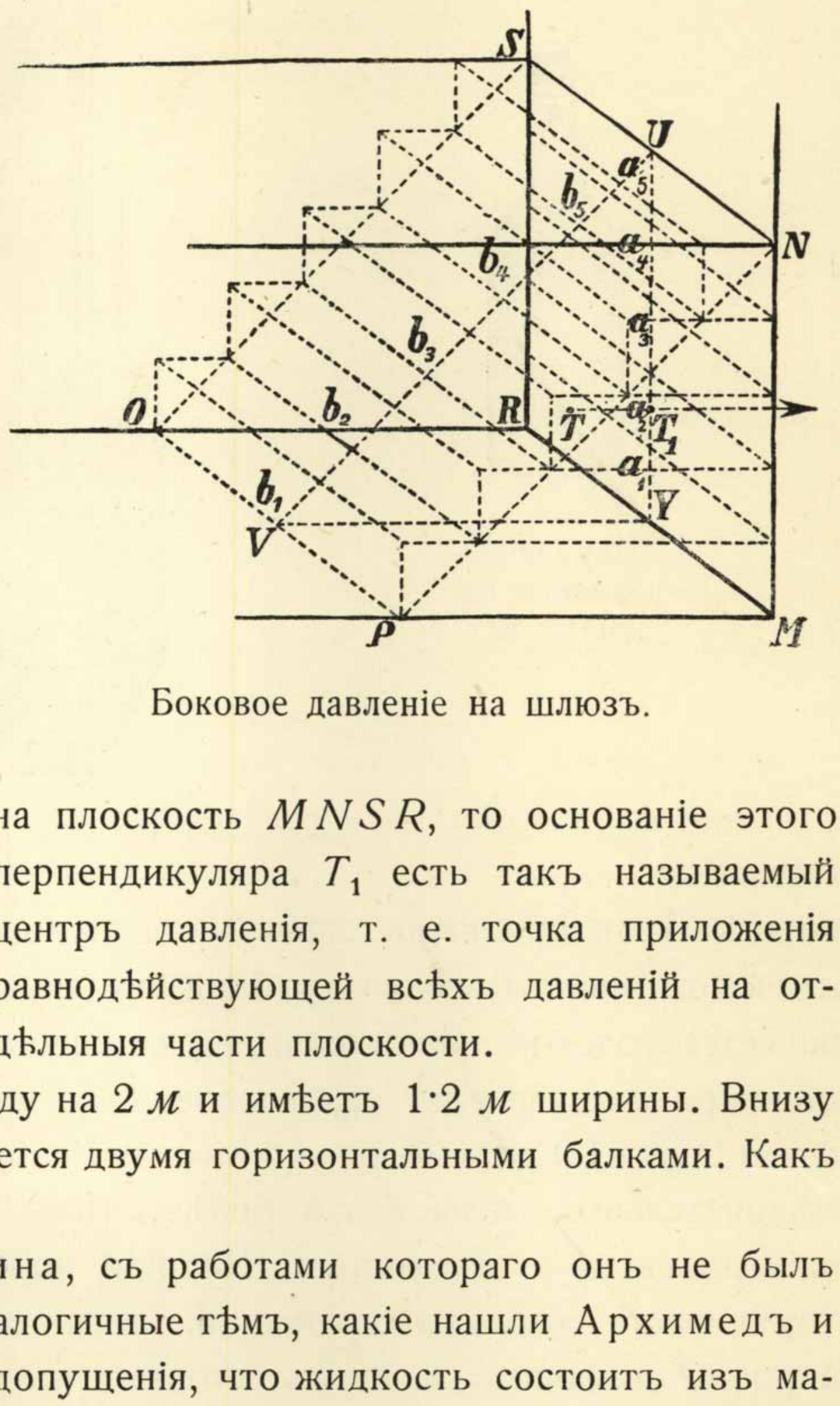
Центръ тяжести этой призмы находится, конечно, въ плоскости UVY, которая проходитъ черезъ середины реберъ OP, RM и SN. Вѣсъ призмы можно себѣ представить равномѣрно распредѣленнымъ по треугольнику UVY или же сосредоточеннымъ въ центрѣ тяжести этого треугольника. Разстояніе центра тяжести T отъ VY равно трети YU (§ 123). Если же опустить перпендикуляръ изъ центра тяжести T

Рис. 202



Небольшой столбъ воды уравновѣшиваетъ вѣсъ человѣка.

Рис 203



Боковое давленіе на шлюзъ.

на плоскость $MNSR$, то основаніе этого перпендикуляра T_1 есть такъ называемый центръ давленія, т. е. точка приложенія равнодѣйствующей всѣхъ давленій на отдѣльныя части плоскости.

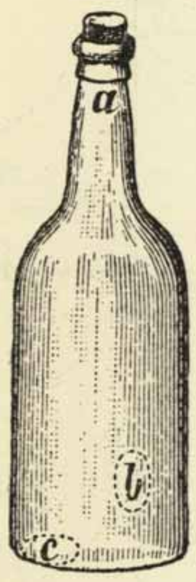
Примѣръ. Шлюзъ погруженъ въ воду на 2 *м* и имѣетъ 1·2 *м* ширины. Внизу и на высотѣ уровня воды онъ поддерживается двумя горизонтальными балками. Какъ велико давленіе на каждую балку?

198. Галилей независимо отъ Стевина, съ работами котораго онъ не былъ знакомъ, открылъ законы гидростатики, аналогичные тѣмъ, какіе нашли Архимедъ и Стевинъ. При этомъ онъ исходилъ изъ допущенія, что жидкость состоитъ изъ маленькихъ шариковъ, которые, подобно частицамъ твердаго тѣла, подчиняются силѣ тяжести, но обладаютъ большой подвижностью, такъ что поддаются малѣйшему давленію. Обративъ особенное вниманіе на это свойство жидкостей, Галилей пришелъ къ такому выводу; если жидкость заключена въ закрытый сосудъ, напримѣръ, въ бутылку (рис. 204) и на одну часть поверхности производится давленіе (при помощи пробки), то оно распространится въ жидкости такимъ образомъ, что всякая другая часть поверхности такого же размѣра будетъ испытывать точно такое же давленіе. Отсюда слѣдуетъ, что давленіе, испытываемое поверхностью бутылки, относится къ давленію на пробку такъ, какъ вся поверхность бутылки къ поперечному сѣченію пробки. Поэтому бутылку, наполненную жидкостью, легко разбить однимъ

http://mathesis.ru

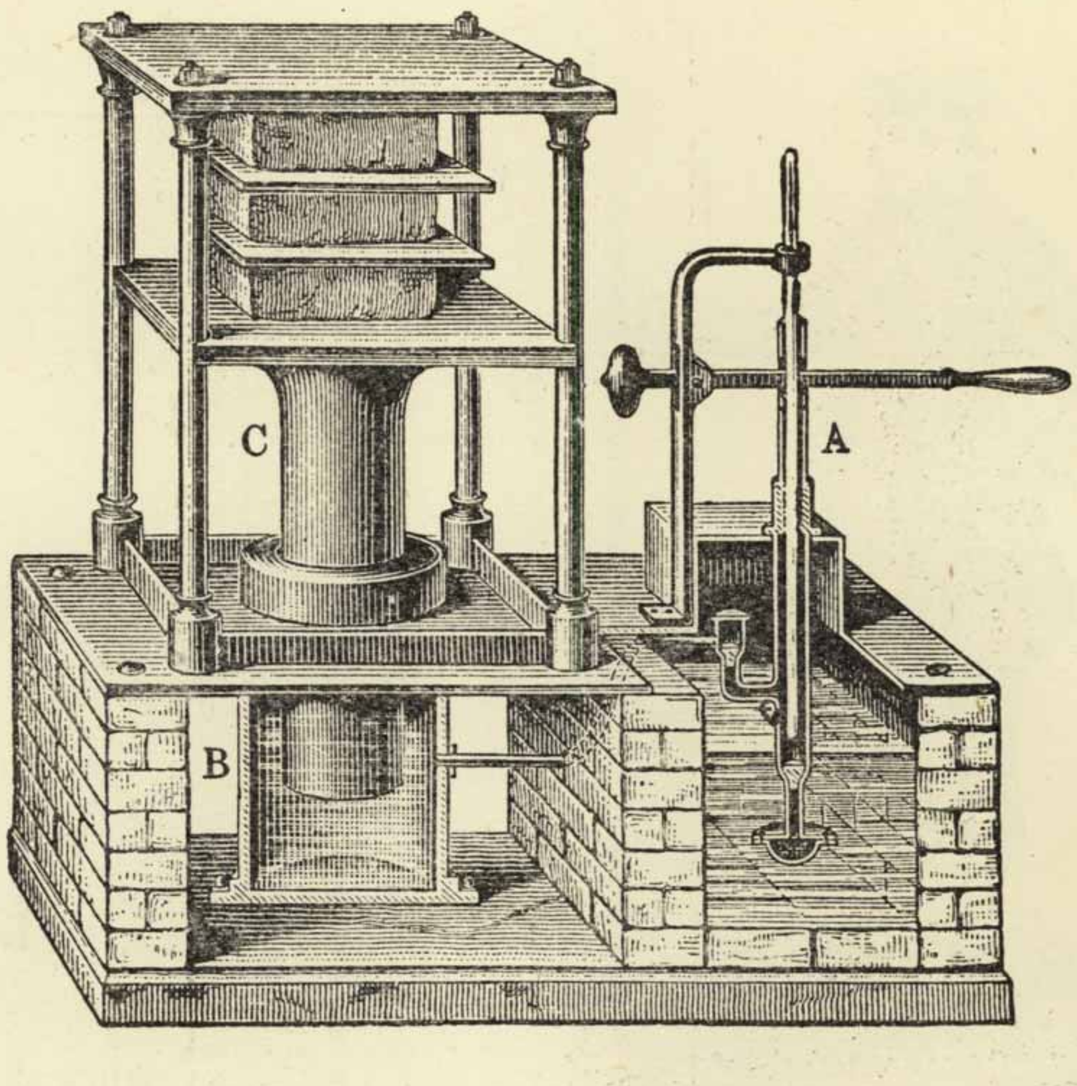
ударомъ по пробкѣ. Если подъ пробкой находится воздухъ, то онъ ослабляетъ дѣйствіе удара. Галилей воспользовался этимъ обстоятельствомъ для постройки такъ называемаго гидравлическаго пресса, на который онъ получилъ въ 1594 г. отъ венеціанскаго дожа патентъ на 20 лѣтъ. Гидравлическій прессъ Галилея не нашелъ сколько-нибудь значительнаго примѣненія. Лишь 200 лѣтъ спустя (1795) англійскій механикъ Джозефъ Брама (1749—1814) въ Лондонѣ получилъ патентъ на такой прессъ, предназначавшійся для прессованія сѣна, хлопка и пр. Поэтому гидравлическій прессъ обыкновенно называютъ прессомъ Брама (рис. 205). Въ узкомъ ци-

Рис. 204



Передача давленія въ жидкости.

Рис. 205



Гидравлическій прессъ.

линдрѣ *A* съ прочными стѣнками движется при помощи рычага поршень. Цилиндръ этотъ соединяется узкою трубкой съ другимъ широкимъ цилиндромъ, въ которомъ движется толстый цилиндрическій поршень *c*. Если, напримѣръ, поперечникъ узкаго цилиндра составляетъ $^1/_{10}$ поперечника широкаго, то послѣдній испытываетъ снизу давленіе въ 100 разъ больше, чѣмъ давленіе, производимое сверху на узкій цилиндръ, слѣдовательно, давленіе это болѣе, чѣмъ въ 100 разъ, превышаетъ силу, съ которой давятъ на ручку рычага. Широкій поршень подымается, конечно, только на одну сотую часть того разстоянія, на которое опускается узкій поршень, такъ какъ въ широкій цилиндръ войдетъ столько же воды, сколько ея будетъ вытѣснено изъ узкаго цилиндра. Мы видимъ, что начало возможныхъ скоростей соблюдается также и въ машинѣ, въ которой механической связью служитъ жидкость.

Чтобы имѣть возможность продолжать движеніе, узкій цилиндръ, подобно насосу, снабжаютъ клапанами, такъ что при повторномъ движеніи рычага изъ узкаго цилиндра въ широкій постоянно вгоняются новыя количества воды.

Гидравлическій прессъ, которымъ можно производить огромныя давленія, находитъ въ промышленности много примѣненій. Онъ служитъ для продавливанія дыръ въ желѣзныхъ плитахъ, для прессованія различныхъ матеріаловъ, для испытанія крѣпости цѣпей, паровыхъ котловъ и т. д.

http://mathesis.ru

Удѣльный вѣсъ

199. Задача объ опредѣленіи количества золота въ вѣнкѣ, предложенная царемъ Гіерономъ Архимеду, побудила послѣдняго заняться изслѣдованіемъ вѣса тѣлъ сравнительно съ ихъ объемомъ.

Подобные вопросы возбуждались и раньше. Уже давно было извѣстно, что нѣкоторыя тѣла, какъ, напримѣръ, золото, свинецъ, ртуть имѣютъ большой вѣсъ по сравненію со своимъ объемомъ. Извѣстна была разница въ вѣсѣ даже такихъ тѣлъ, которыя въ этомъ отношеніи мало отличаются другъ отъ друга. Знаменитый грече-
скій врачъ Гиппократъ (456—366) указываетъ въ одномъ изъ своихъ сочиненій, что дождевая вода легче всякой другой воды. Что она легче морской воды, это, пожалуй, нетрудно было замѣтить. Но нужно удивляться тому, какъ древніе греки со своими несовершенными инструментами сумѣли подмѣтить, что дождевая вода легче колодезной. Нужно думать, что къ этому выводу они пришли скорѣе умозрительнымъ, чѣмъ опытнымъ путемъ. Во всякомъ случаѣ несомнѣнно, что дождевой водой, по ея вѣсу, пользовались для опредѣленія мѣръ емкости.

200. Архимедъ нисколько не уступалъ своимъ предшественникамъ въ математической точности; въ изслѣдованіи же труднѣйшихъ проблемъ математики и механики онъ пошелъ даже дальше ихъ всѣхъ. Ставя умозрѣніе выше опыта, онъ тѣмъ не менѣе заботился о провѣркѣ результатовъ своихъ изслѣдованій на опытѣ Одинъ латинскій писатель временъ Тиберія (онъ сообщилъ намъ и исторію о золотомъ вѣнкѣ царя Гіерона) упоминаетъ въ этомъ же сочиненіи о плавающемъ тѣлѣ, которое погружается тѣмъ глубже, чѣмъ легче жидкость, въ которой оно находится. Не подлежитъ сомнѣнію, что Архимедъ, написавшій превосходное сочиненіе о плаваніи тѣлъ, умѣлъ опредѣлять удѣльный вѣсъ не только золота, но и другихъ тѣлъ и что ему были извѣстны и другіе способы для этого, помимо того, которымъ онъ опредѣлилъ удѣльный вѣсъ золотого вѣнка.

Марино Гетальди (род. въ 1566 г. въ Рагузѣ, ум. въ 1609 г. посломъ венеціанской республики въ Константинополѣ) приводитъ въ своемъ сочиненіи „Promotus Archimedes“, вышедшемъ въ 1603 году, удѣльные вѣса 12 различныхъ веществъ — семи извѣстныхъ въ то время металловъ: золота, серебра, ртути, свинца, мѣди, желѣза и олова, а также воды, вина, меда, уксуса и масла. Такъ называемая „биланцетта“, служившая для опредѣленія удѣльнаго вѣса и изобрѣтеніе которой приписывали Галилею, есть, вѣроятно, одинъ изъ тѣхъ приборовъ, относительно которыхъ встрѣчаются указанія уже у Архимеда.

По описанію, „биланцетта“ представляла собой родъ безмена, при помощи котораго можно было обычнымъ путемъ найти вѣсъ тѣла въ воздухѣ, а также его кажущійся вѣсъ въ водѣ. Если тѣло (напримѣръ, кусокъ свинца) вѣситъ въ воздухѣ 11, а въ водѣ 10 фунтовъ, то оно, согласно закону Архимеду, должно вытѣснять 1 фунтъ воды. 11 фунтовъ свинца занимаютъ, слѣдовательно, тотъ же объемъ, что и 1 фунтъ воды. Удѣльный вѣсъ свинца равенъ, слѣдовательно, 11 (точнѣе 11·4).

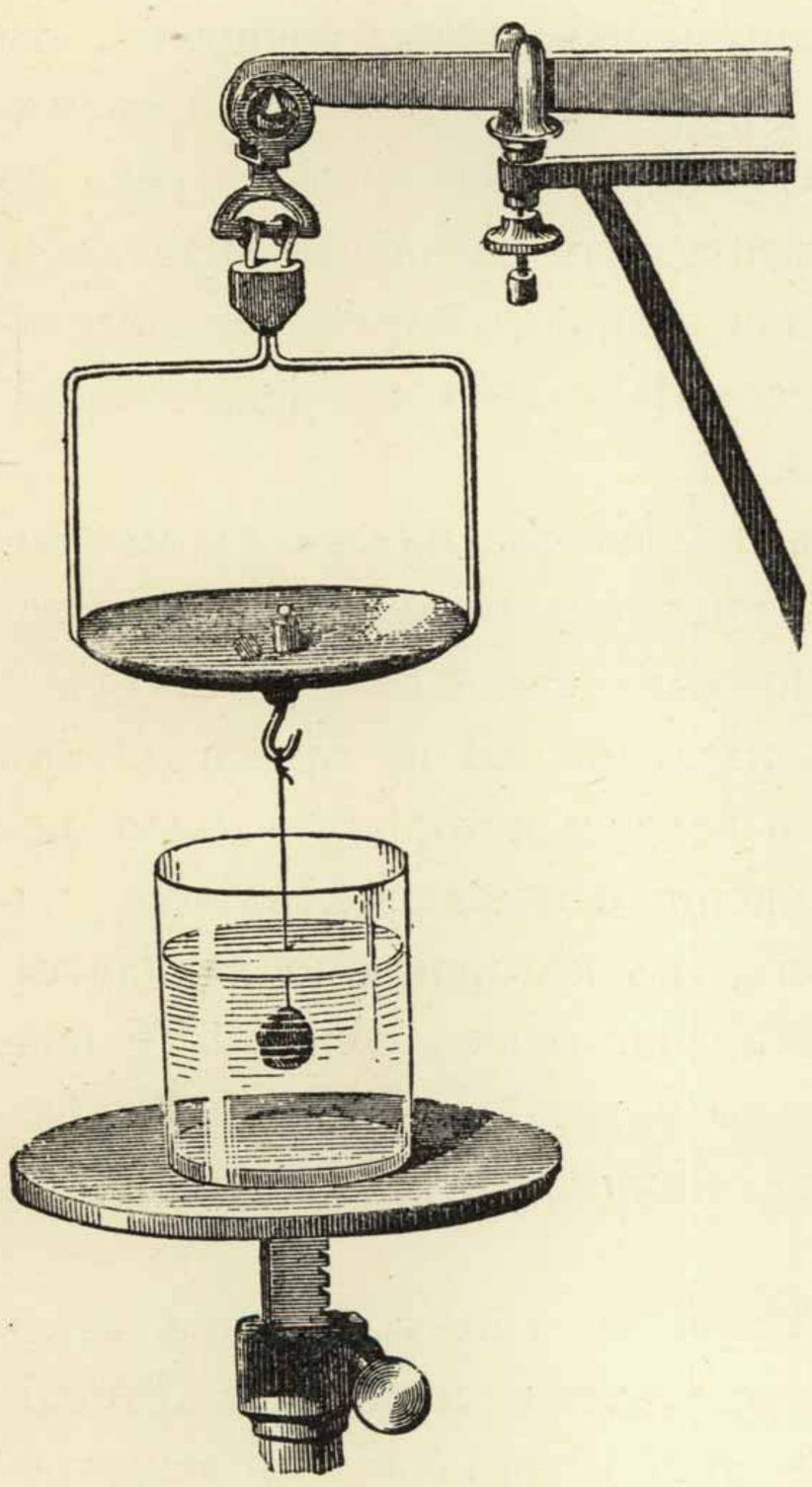
201. Это составляетъ обычный пріемъ опредѣленія удѣльнаго вѣса твердыхъ тѣлъ. Для опредѣленія удѣльнаго вѣса при помощи болѣе точныхъ вѣсовъ къ одной изъ чашекъ прикрѣпляютъ крючокъ (рис. 206), на который вѣшаютъ испытуемое тѣло. Опредѣляютъ вѣсъ этого тѣла въ воздухѣ и въ водѣ. Удѣльный вѣсъ тѣла по-

http://mathesis.ru

лучится, если раздѣлить его вѣсъ на потерю вѣса въ водѣ. Въ самомъ дѣлѣ, потеря вѣса въ водѣ равна вѣсу такого же объема воды.

Если тѣло легче воды, то нужно сначала привѣсить къ чашкѣ вѣсовъ болѣе тяжелое тѣло, чѣмъ данное, затѣмъ, погрузивъ его въ воду, уравновѣсить дробью, пескомъ и т. д. Если теперь положить на чашку вѣсовъ легкое тѣло, то можно найти вѣсъ его въ воздухѣ, накладывая разновѣски на другую чашку. Привязавъ затѣмъ легкое тѣло къ тяжелому и погрузивъ ихъ вмѣстѣ въ воду, для равновѣсія придется положить на ту чашку вѣсовъ, къ которой они привѣшены, грузъ, равный потерѣ въ вѣсѣ. Такимъ путемъ находится потеря вѣса легкаго тѣла въ водѣ.

Рис. 206



Гидростатическіе вѣсы.

202. Едвали можно думать, что древніе нашли разницу удѣльныхъ вѣсовъ вина, соленой воды, дождевой воды и ключевой взвѣшиваніемъ равныхъ объемовъ этихъ веществъ; скорѣе всего, они замѣтили ее по плаванію тѣлъ въ этихъ жидкостяхъ. Существуютъ различныя вещества, удѣльный вѣсъ которыхъ очень близокъ къ удѣльному вѣсу воды. Въ этомъ случаѣ достаточно незначительнаго измѣненія плотности жидкости, чтобы плавающее тѣло стало тонуть или тонущее стало плавать. Вѣсъ человѣческаго тѣла также очень близокъ къ вѣсу воды, такъ что въ морской водѣ замѣтно легче плавать, чѣмъ въ прѣсной. Легче плавать также, когда при вдыханіи легкія наполняются воздухомъ. Яйцо плаваетъ въ соленой водѣ, но тонетъ въ прѣсной.

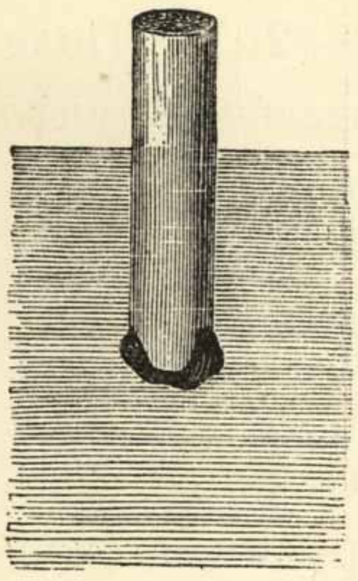
Разъ это было замѣчено, нетрудно было придти къ мысли устроить поплавокъ такимъ образомъ, чтобы на немъ можно было легко замѣчать неодинаковое погруженіе его въ разныхъ жидкостяхъ. Тотъ ли это приборъ Архимеда, о которомъ упомянуто въ § 200 или нѣтъ, но такой приборъ, во всякомъ случаѣ, извѣстенъ уже больше тысячи лѣтъ. Онъ имѣетъ нѣкоторое сходство съ игрушкой, которой дѣти часто играютъ на морскомъ берегу. Она состоитъ изъ кусочка камыша, къ одному концу котораго прикрѣпленъ камешекъ, вслѣдствіе чего этотъ конецъ становится тяжелѣе. Если бросить игрушку въ воду, то она плаваетъ въ вертикальномъ положеніи и свободный конецъ ея находится надъ водой (рис. 207).

Чтобы легче наблюдать степень погруженія тѣла въ различныя жидкости, нужно сдѣлать ту часть тѣла, которая находится внѣ воды, очень узкой. Плавающее тѣло погружается всегда настолько, что вытѣсненная жидкость имѣетъ вѣсъ этого тѣла. Поэтому тѣло должно имѣть такую форму, чтобы, при замѣтномъ измѣненіи погруженной части, оно вытѣсняло лишь немного больше жидкости. Эти приборы (ареометры) дѣлаются въ большинствѣ случаевъ изъ стекла и имѣютъ форму, указанную на рис. 208. Въ шарообразную часть на нижнемъ концѣ помѣщаютъ небольшое количество дроби или ртути. Въ верхней узкой части находится полоска бумаги со шкалой.

http://mathesis.ru

Дѣленія часто предназначены для опредѣленной жидкости, напримѣръ, для спирта, который легче воды, или для сахарнаго или солянаго раствора, которые тяжелѣе воды. Въ такомъ случаѣ дѣленія непосредственно указываютъ, сколько частей спирта, сахару или соли заключается въ данной жидкости. Ареометры, предназначенные для всякихъ жидкостей, имѣютъ шкалу, на которой непосредственно отсчитывается удѣльный вѣсъ. Въ большомъ ходу, особенно въ техникѣ, ареометры съ совершенно произ-

Рис. 207

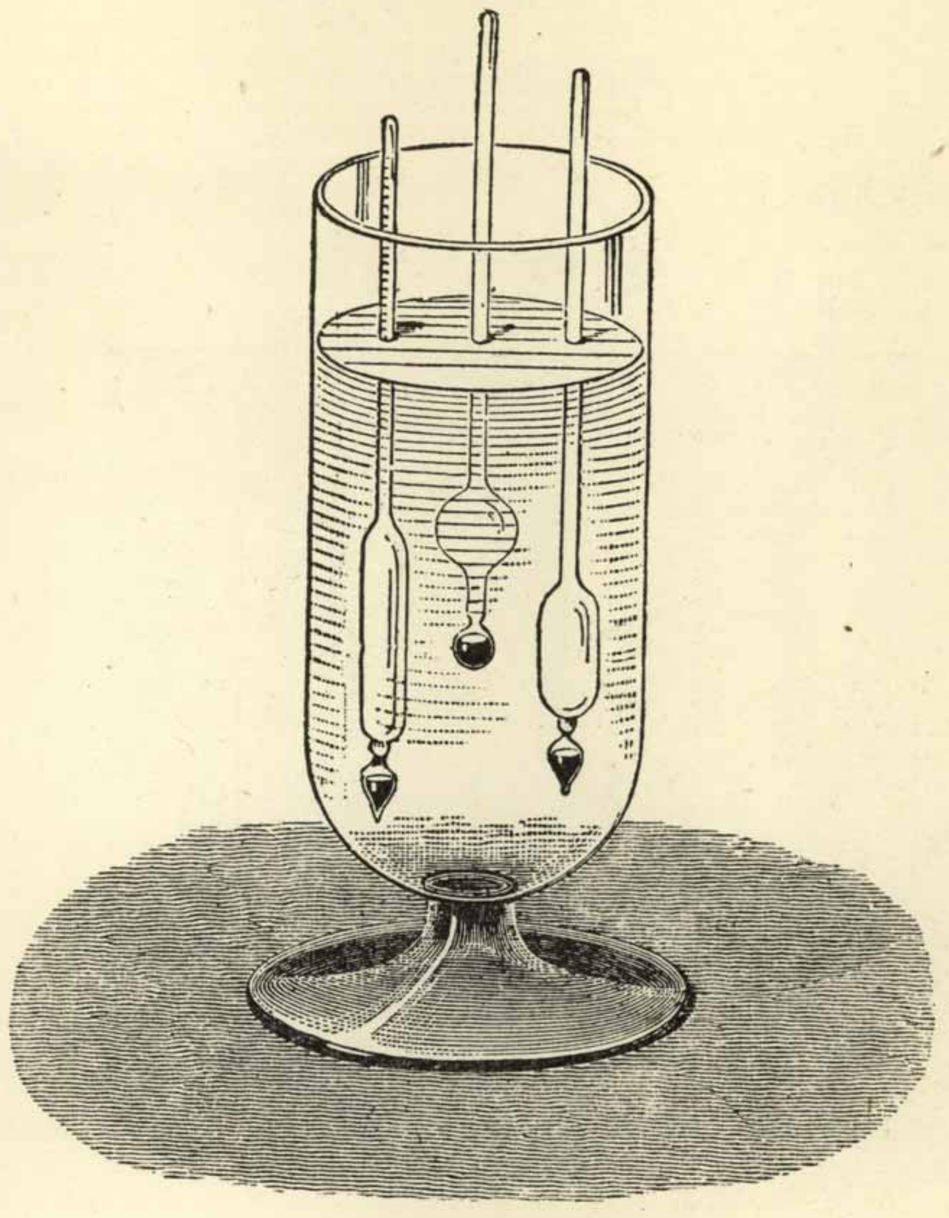


Поплавокъ изъ камыша.

вольными дѣленіями, какъ, напримѣръ, ареометръ Боме (1728—1804). Удѣльный вѣсъ, соотвѣтствующій данному числу „градусовъ“ этого ареометра, берется изъ соотвѣтственной таблицы.

203. Кромѣ такого древняго поплавка, существуетъ еще другой приборъ, который построенъ на

Рис. 208



Ареометры.

иномъ принципѣ и которымъ мы обязаны, можно думать, знаменитой Accademia del Cimento. Онъ имѣетъ нѣкоторое сходство съ описанными ареометрами, но узкій конецъ его еще тоньше (рис. 209, a) и снабженъ не шкалой, а только мѣткой, до которой онъ погружается въ жидкость при наложеніи кольцеобразныхъ разновѣсокъ. Онъ вытѣсняетъ такимъ образомъ всегда одинъ и тотъ же объемъ жидкости. Такимъ образомъ, въ каждомъ случаѣ нужно опредѣлить, какимъ грузомъ вытѣсняется этотъ объемъ. Необходимо поэтому знать вѣсъ самого прибора и вѣсъ всѣхъ кольцеобразныхъ добавочныхъ грузовъ. Если, напримѣръ, ареометръ вѣситъ 60 *г* и для погруженія его въ воду необходимъ добавочный грузъ въ 25 *г*, а для погруженія въ спиртъ до той же черты необходимъ грузъ въ 18 *г*, то вѣсъ вытѣсненнаго количества воды составляетъ 85 *г*, вѣсъ вытѣсненнаго количества спирта 78 *г*; слѣдовательно, удѣльный вѣсъ спирта равенъ $^{78}/_{85} = 0{\cdot}918$.

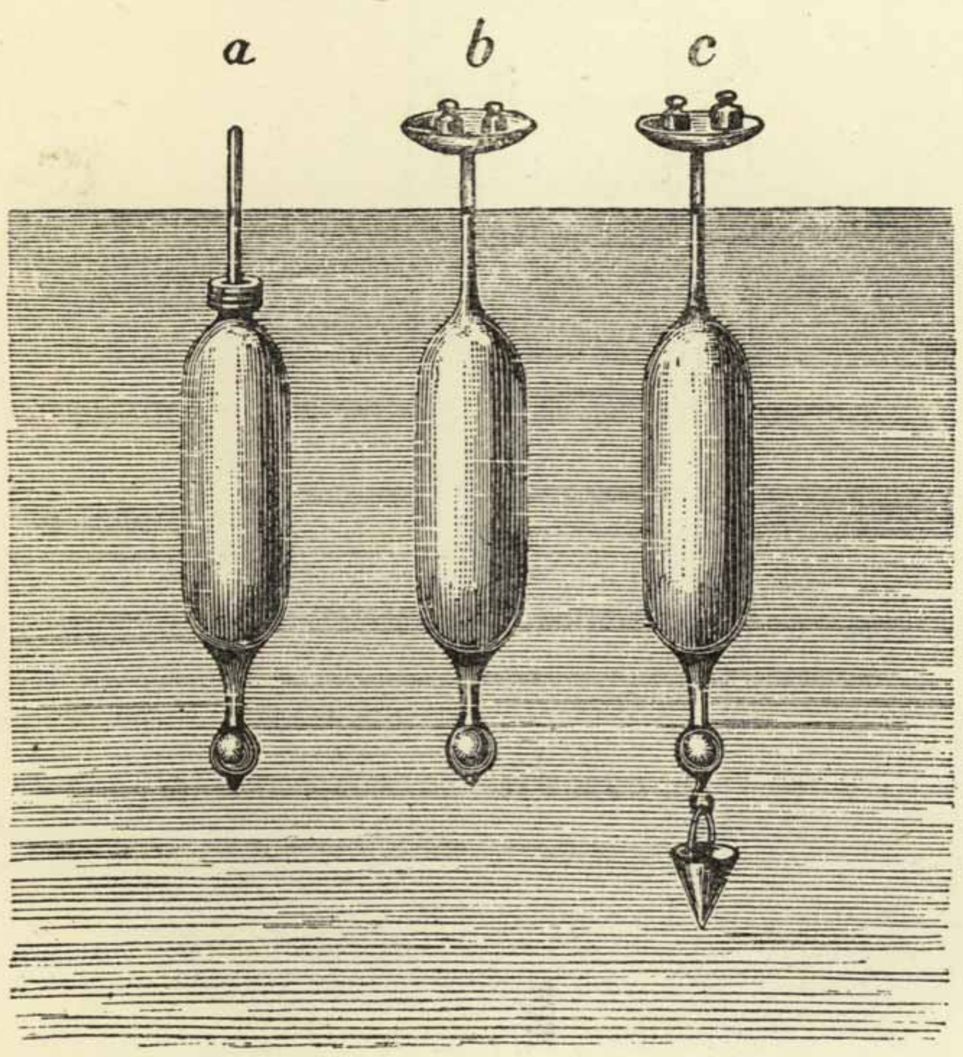
Этотъ приборъ въ 1724 году былъ усовершенствованъ Фаренгейтомъ. На верхнемъ концѣ узкой части онъ помѣстилъ маленькую чашечку (рис. 209, b), на которую кладутся разновѣски. Этимъ устраняется измѣненіе объема погруженной части прибора. Затѣмъ, въ 1787 году Никольсонъ помѣстилъ на нижнемъ концѣ маленькое сито (рис. 209, c), такъ что тотъ же приборъ можетъ служить и для опредѣленія удѣльнаго вѣса твердыхъ тѣлъ. Чтобы найти вѣсъ такого тѣла, приборъ

http://mathesis.ru

нагружаютъ разновѣсками такъ, чтобы онъ опустился въ воду до черты, затѣмъ кладутъ изслѣдуемое тѣло на чашку и снимаютъ соотвѣтствующее количество разновѣсокъ, такъ чтобы мѣтка опять была на поверхности воды. Послѣ этого перекладываютъ тѣло въ сито. Грузъ, который нужно положить теперь, чтобы снова погрузить приборъ до мѣтки, даетъ потерю вѣса тѣла въ водѣ.

204. Удѣльнымъ вѣсомъ часто приходится пользоваться при различныхъ вычисленіяхъ, напримѣръ, при вычисленіи вѣса тѣла по его объему. Для точныхъ вычисленій нужно брать удѣльный вѣсъ изъ подробной таблицы или получить его путемъ опыта (§§ 201—202). Полезно запомнить приблизительные удѣльные вѣсы нѣкоторыхъ веществъ.

Рис 209.



Ареометръ Accademia del Cimento (a), усовершенствованный Фаренгейтомъ (b) и Никольсономъ (c).

Пробка	$^1/_4$
Дерево, смотря по породѣ и по степени сухости отъ	$^1/_3$ до $1^1/_3$
Большинство камней, глина, песокъ, кирпичъ стекло отъ	2 „ 3
Алюминій	$2^2/_3$
Желѣзо, сталь, олово отъ	7 до 8
Мѣдь	9
Серебро	10
Свинецъ	11
Ртуть	14
Золото, платина . . .	20
Иридій	23

Безводный спиртъ имѣетъ удѣльный вѣсъ 0·8. Масло вообще немного легче воды; изъ винъ одни легче воды, другія тяжелѣе воды. Водные растворы, вообще говоря, тяжелѣе воды, но даже самые крѣпкіе растворы рѣдко имѣютъ удѣльный вѣсъ больше $1^1/_2$. Если помнить, что литръ воды вѣситъ килограммъ, то нерѣдко можно опредѣлить приблизительный вѣсъ даннаго объема вещества.

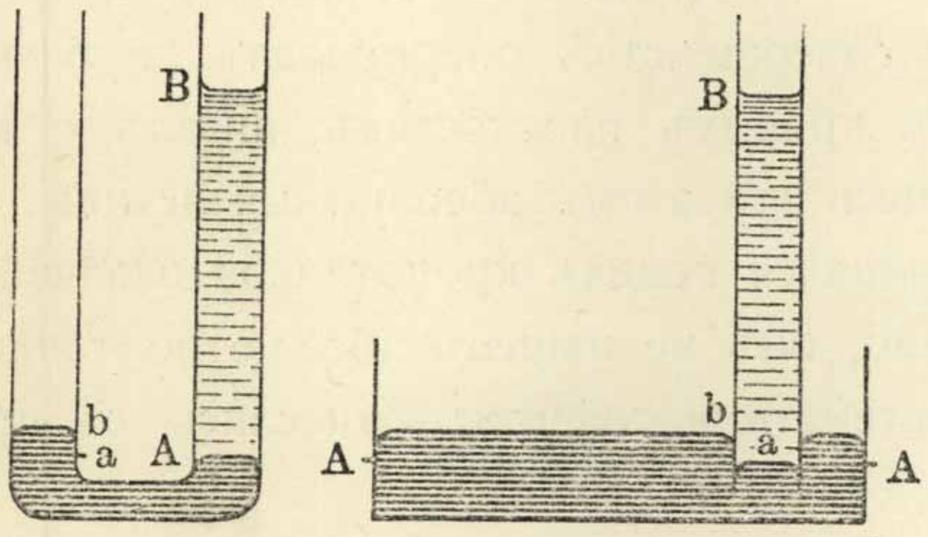
Примѣръ 1. Сколько вѣситъ кирпичъ длиной въ 25 *см*, шириной въ 12 *см* и толщиной въ 6·5 *см* (нормальный кирпичъ въ Германіи)? Примѣръ 2. Сколько вѣситъ желѣзная ось въ 6 *м* длины и 10 *см* въ поперечникѣ? Примѣръ 3. Какой объемъ занимаютъ 50 *кг* пробки? Примѣръ 4. Дубовый стволъ (уд. вѣсъ = 1) имѣетъ въ длину 5 *м*, а въ толщину 0·6 *м*. Каковъ его вѣсъ? Примѣръ 5. Для громоотвода нуженъ мѣдный стержень длиной въ 20 *м* и въ 1 *см* поперечникомъ. Сколько содержится въ немъ килограммовъ мѣди? Примѣръ 6. Крышу нужно покрыть свинцовыми листами въ 2 *мм* толщиной. Поверхность крыши 30 *квм*. Сколько килограммовъ свинца пойдетъ на это? Примѣръ 7. Стеклянная трубка длиной въ 80 *см* заканчивается шаромъ. Трубка и шаръ наполнены ртутью. Какое давленіе оказываетъ ртуть на каждый квадратный сантиметръ поверхности шара? Примѣръ 8. Шпицъ колокольни съ поверхностью въ 2 *квм* позолоченъ 2 *г* золота. Какова толщина слоя золота?

http://mathesis.ru

205. Если налить въ одинъ сосудъ нѣсколько жидкостей, то онѣ расположатся въ немъ горизонтальными слоями — соотвѣтственно своимъ удѣльнымъ вѣсамъ, притомъ такъ, что самая тяжелая изъ нихъ расположится на днѣ. Тогда во всѣхъ точкахъ горизонтальной плоскости на любой глубинѣ давленіе будетъ одно и то же, т. е. будетъ выполняться необходимое условіе равновѣсія (§ 191). Еслибы горизонтальный слой воды лежалъ поверхъ слоя масла, жидкости тоже находились бы въ равновѣсіи, но это было бы неустойчивое равновѣсіе и достаточно было бы малѣйшаго толчка, чтобы масло, какъ болѣе легкая жидкость, стало подыматься наверхъ, и обѣ жидкости пришли бы въ состояніе покоя лишь тогда, когда слой масла легъ бы поверхъ слоя воды.

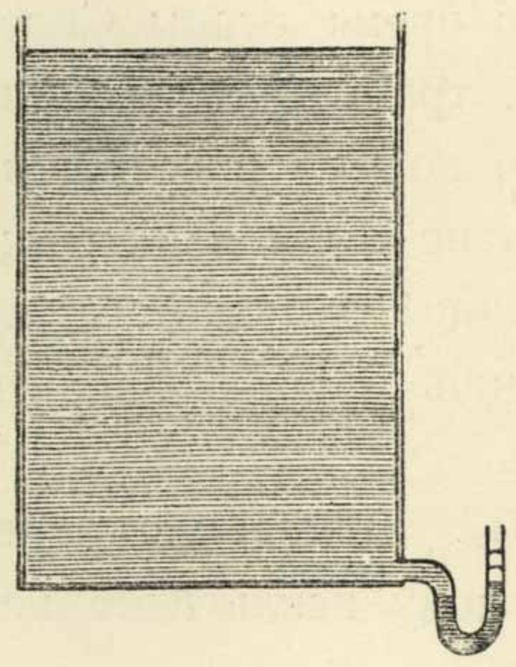
Если въ сообщающихся сосудахъ находятся жидкости различнаго удѣльнаго вѣса и если тяжелой жидкости, напримѣръ, ртути, имѣется столько, что она можетъ закрыть весь просвѣтъ трубки, то, какъ легко можно видѣть, вода въ одномъ колѣнѣ станетъ выше, чѣмъ ртуть въ другомъ колѣнѣ, независимо отъ того, имѣетъ ли приборъ форму *U*-образной трубки или состоитъ изъ одного открытаго колѣна при болѣе широкомъ сосудѣ (рис. 210). Въ плоскости $A\,a$ повсюду должно быть одинаковое давленіе. Но это можетъ имѣть мѣсто только въ томъ случаѣ, если водяной столбъ $A\,B$ и ртутный $a\,b$ давятъ съ одинаковой силой. А такъ какъ давленіе

Рис. 210



Жидкости различнаго удѣльнаго вѣса въ сообщающихся сосудахъ.

Рис. 211



Сосудъ съ ртутной пробкой.

въ A и въ a не зависитъ отъ ширины и формы водяного столба (§ 190), а только отъ его высоты, то столбъ $A\,B$ долженъ быть во столько разъ (14) выше столба $a\,b$, во сколько разъ ртуть тяжелѣе воды. Высоты и удѣльные вѣса жидкостей должны находиться, такимъ образомъ, въ обратномъ отношеніи.

Примѣръ 1. Боченокъ въ 1 *квм* въ поперечникѣ наполненъ до высоты 1 *м* спиртомъ, удѣльнаго вѣса 0·85 (рис. 211). Внизу насаживается *U*-образно изогнутая трубка въ 1 *см* въ поперечникѣ. Въ трубкѣ находится ртуть. На сколько сантиметровъ стоитъ ртуть во внѣшнемъ колѣнѣ *U*-образной трубки выше, чѣмъ во внутреннемъ? Сколько граммовъ вѣситъ эта ртуть? Сколько килограммовъ спирта уравновѣшиваетъ она?

http://mathesis.ru

Приборы, основанные на свойствахъ воды и воздуха

206. Теорія и практика нерѣдко относились съ пренебреженіемъ другъ къ другу. Первая полагала, что только она имѣетъ всеобщую и вѣковѣчную цѣнность для человѣчества; вторая же указывала на осязаемую реальность, какъ на единственное, на что можно полагаться и что имѣетъ цѣну для практической жизни.

Временами теорія и практика дѣйствительно могутъ развиваться независимо другъ отъ друга, но ни одна изъ нихъ не можетъ обходиться безъ плодотворнаго вліянія другой сколько-нибудь долгое время. Иллюстраціей къ сказанному могутъ служить греческіе математики и философы. Создавъ много великаго въ своей области, они сторонились окружающей жизни, что̀ не могло не имѣть своимъ послѣдствіемъ извѣстной односторонности. Нужно удивляться тому, что такой одаренный народъ такъ мало подвинулъ впередъ естественныя науки. Это объясняется, однако, тѣмъ, что лишь немногіе среди греческихъ математиковъ интересовались природой. Но зато, если какой-либо вопросъ изъ этой области становился предметомъ изслѣдованія, то греки всегда достигали значительныхъ результатовъ. Достаточно привести имена Аристарха и Гиппарха въ астрономіи и Архимеда въ механикѣ. Архимедъ, какъ работникъ въ сферѣ отвлеченной мысли, едвали имѣлъ себѣ равнаго; путемъ чистаго умозрѣнія онъ завоевалъ новыя области въ наукѣ, какъ, напримѣръ, ученіе о равновѣсіи. Но онъ не преминулъ также использовать свои познанія и свои дарованія во время осады Сиракузъ. Онъ въ совершенствѣ оперировалъ съ безконечно-малыми, трактовалъ о кривыхъ линіяхъ и кривыхъ плоскостяхъ, писалъ о кругѣ, о шарѣ, о конусѣ и о цилиндрѣ, устанавливая при этомъ абсолютныя истины, которыя до него не были извѣстны; онъ не остановился передъ кропотливой задачей вычисленія длины окружности; причемъ, конечно, онъ не нашелъ абсолютно точнаго числа, а лишь приближеніе, къ которому математики-софисты отнеслись съ пренебреженіемъ.

207. Теперь мы переходимъ къ другому великому математику, также представлявшему исключеніе изъ общаго правила, а именно — къ Герону Александрійскому. О его личности мы знаемъ мало. Онъ жилъ около 100 г. до Р. Х. Его учителемъ былъ, повидимому, Ктезибій. Послѣдній былъ сыномъ брадобрея и въ молодые годы занимался дѣломъ своего отца, но впослѣдствіи онъ изобрѣлъ большое количество физическихъ приборовъ, водяные часы (§ 158), водяной орга́нъ, нагнетательный насосъ и метательную машину, на подобіе воздушнаго ружья, метавшую пули при посредствѣ сжатаго воздуха. Надо полагать, что своими изобрѣтеніями Ктезибій отчасти обязанъ египтянамъ; заслуга его заключалась частью въ томъ, что онъ раскрылъ нѣкоторыя тайны египтянъ и представилъ ихъ въ лучшей формѣ.

Ученикъ его, Геронъ былъ высокоодаренный и оригинальный математикъ. Онъ съ поразительнымъ искусствомъ умѣлъ соединять теорію съ практикой. Такъ, онъ написалъ книгу о землемѣріи при помощи діоптровъ, которая является первымъ обстоятельнымъ руководствомъ по этому предмету. Египтяне, у которыхъ землемѣріе играло важную роль, пользовались даже во времена Герона устарѣлымъ методомъ, приводившимъ иногда къ совершенно невѣрнымъ результатамъ. Трудъ Герона явился полнымъ руководствомъ къ производству какъ практическихъ измѣреній, такъ и вычисленій, для которыхъ онъ далъ особыя формулы. Онъ, напримѣръ, далъ фор-

http://mathesis.ru

мулу для вычисленія площади треугольника по тремъ сторонамъ его, повидимому, найденную имъ самимъ[1]).

208. Геронъ, между прочимъ, написалъ книгу о примѣненіяхъ воды и воздуха. Эта книга начинается такъ: „Въ виду того, что древніе философы и математики считали важнымъ тщательное изученіе свойствъ и силы воздуха, при чемъ одни изъ нихъ изслѣдовали этотъ предметъ чисто умозрительно, между тѣмъ какъ другіе наблюдали дѣйствіе воздуха на чувства, я счелъ необходимымъ изложить все то, что дошло до насъ объ этомъ предметѣ, и прибавить то, что нашли мы сами. Этимъ будетъ оказана существенная услуга тѣмъ, которые пожелали бы заняться изученіемъ математики, и сверхъ того... это можетъ принести большую пользу на практикѣ, а также служить предметомъ большого удивленія“.

Изъ этого предисловія можно заключить, что Геронъ имѣлъ въ виду въ одинаковой мѣрѣ какъ объясненіе явленій, такъ и ихъ полезныя примѣненія. Вмѣстѣ съ тѣмъ читатель узнаетъ, что часть изобрѣтеній, перечисленныхъ въ книгѣ, лишь собрана авторомъ, другая же часть принадлежитъ ему самому, а также, что одни открытія имѣютъ практическое значеніе, другія же служатъ скорѣе для удовлетворенія нашей любознательности.

Эта книга представила огромный шагъ впередъ во многихъ отношеніяхъ. Въ первый разъ греческій математикъ ставитъ себѣ цѣлью практическую пользу, не упуская вмѣстѣ съ тѣмъ изъ виду и теоретической стороны дѣла. Далѣе, въ этой книгѣ впервые приведены принципы новой технической системы пользованія водой, упразднявшей устарѣлыя водочерпательныя машины. Правда, нѣкоторыя детали этой системы существовали (въ Египтѣ и при Ктезибіи) еще до Герона; но только послѣдній переработалъ ее заново въ совершенно новую систему, дополненную его собственными изобрѣтеніями.

209. Наконецъ, этой книгой Геронъ сдѣлалъ значительный шагъ впередъ еще и въ томъ отношеніи, что въ ней онъ теоретически обосновалъ эту новую техническую систему. И эта теорія не принадлежала ему цѣликомъ, такъ какъ нѣкоторыя части ея можно найти еще у Аристотеля. Но Геронъ развилъ ее съ такой полнотой и ясностью и такъ широко использовалъ ее для примѣненій, что она является у него какъ бы совершенно новой. Теорія эта заключается въ слѣдующихъ положеніяхъ, приведенныхъ непосредственно послѣ указаннаго выше предисловія: „Прежде чѣмъ приступить къ тому, что я намѣренъ здѣсь изложить, необходимо разсмотрѣть „пустоту“. Одни утверждаютъ, что пустоты вообще не существуетъ; другіе же полагаютъ, что пустота не можетъ образовать цѣлыхъ пространствъ, но что она можетъ заключаться въ промежуткахъ между частицами воздуха, воды, огня и другихъ тѣлъ. Послѣднему мнѣнію мы отдаемъ предпочтеніе, такъ какъ оно кажется правильнымъ и съ перваго взгляда и послѣ размышленія. Въ самомъ дѣлѣ, сосудъ, напримѣръ, кажущійся многимъ пустымъ, въ дѣйствительности не пустъ, а наполненъ воздухомъ. Воздухъ же, по мнѣнію людей, изучающихъ природу, состоитъ изъ легкихъ тѣлецъ. Наливая воду въ пустой на видъ сосудъ, мы въ сущности тѣмъ самымъ уда-

---

[1]) Пусть стороны треугольника будутъ a, b, c; полусумма длинъ его сторонъ пусть будетъ s; тогда площадь треугольника будетъ:

$$\sqrt{s\,(s-a)\,(s-b)\,(s-c)}.$$

http://mathesis.ru

ляемъ изъ него столько воздуха, сколько наливаемъ туда воды. Въ сказанномъ можно убѣдиться слѣдующимъ образомъ. Опустимъ въ воду пустой, повидимому, сосудъ дномъ кверху; вода въ него не войдетъ, даже если мы его совершенно погрузимъ въ нее. Очевидно, такимъ образомъ, что воздухъ, подобно всякому другому тѣлу, препятствуетъ водѣ войти въ сосудъ, который имъ наполненъ. Но если продѣлать отверстіе въ днѣ, то вода наполнитъ сосудъ, вытѣснивъ воздухъ черезъ это отверстіе. Если же извлечь изъ воды сосудъ, не пробуравливая въ днѣ его отверстія, то мы не замѣтимъ на внутреннихъ его стѣнкахъ слѣдовъ жидкости, — онѣ будутъ сухи, какъ и до погруженія въ воду. Поэтому воздухъ нужно разсматривать, какъ тѣло. Пришедши въ движеніе, воздухъ производитъ вѣтеръ; вѣтеръ есть не что иное, какъ движущійся воздухъ. Если держать руку надъ отверстіемъ въ днѣ сосуда, то легко почувствовать идущій оттуда вѣтеръ во все время наполненія сосуда водой. Но этотъ вѣтеръ есть не что иное, какъ воздухъ, выталкиваемый водой; невозможно поэтому допустить, что пустота сама по себѣ можетъ образовать нѣчто цѣлое. Она распредѣляется мельчайшими частями въ огнѣ, въ водѣ и въ другихъ тѣлахъ, не исключая и алмаза, который, повидимому, какъ будто свободенъ отъ пустоты, такъ какъ онъ не накаляется и не разбивается даже подъ молотомъ на наковальнѣ. Но это объясняется не отсутствіемъ въ немъ пустотъ, а лишь его значительной плотностью. Вслѣдствіе же того, что частицы огня больше, нежели пустоты алмаза, огонь не въ состояніи проникнуть въ нихъ; онъ лишь можетъ прикасаться къ его внѣшней поверхности“.

Итакъ, по мнѣнію Герона не существуетъ значительныхъ пространствъ, которыя ничѣмъ не были бы заполнены. Гдѣ нѣтъ воды или другого видимаго тѣла, тамъ есть воздухъ — и воздухъ есть также тѣло, равно какъ и огонь. Но всѣ тѣла пористы, т. е. обладаютъ множествомъ маленькихъ пустотъ; это справедливо не только относительно воздуха, но и относительно другихъ тѣлъ. Когда тѣла накаляются, то ихъ пары, по мнѣнію Герона, пронизываются огнемъ, который, въ свою очередь, есть также тѣло. Равнымъ образомъ алмазъ, который, какъ тогда полагали, не можетъ быть раскаленъ, по мнѣнію Герона также пористъ; но поры его настолько малы, что огонь не можетъ проникнуть въ нихъ, а самъ алмазъ не можетъ быть сжатъ между молотомъ и наковальней. Чтобы окончательно убѣдить въ пористости тѣлъ, Геронъ говоритъ: „Какимъ образомъ свѣтъ, теплота или иныя матеріальныя силы могли бы проникать въ воду, въ воздухъ или въ другія тѣла?“ Подобнымъ же образомъ онъ доказываетъ пористость воды и вина способностью этихъ жидкостей смѣшиваться совершенно; при этомъ, конечно, частицы одной жидкости проникаютъ въ поры другой. Сжатіе и расширеніе тѣлъ онъ также объясняетъ исключительно уменьшеніемъ и увеличеніемъ поръ, тогда какъ сами частицы тѣла ни увеличиваются, ни уменьшаются. При отсутствіи внѣшней силы тѣло всегда занимаетъ свой естественный объемъ. Если подуть въ бутылку и сейчасъ же заткнуть ее пальцемъ, то въ ней сверхъ первоначальнаго воздуха будетъ находиться и вдутый нами; вслѣдствіе чего поры уменьшатся, какъ уменьшаются пустые промежутки въ сжимаемой губкѣ. По удаленіи же пальца часть воздуха выходитъ, а оставшійся въ бутылкѣ воздухъ занимаетъ свой естественный объемъ, при чемъ поры принимаютъ первоначальную величину. Если изъ бутылки высосать часть воздуха, то поры оставшагося воздуха получатъ неестественную для нихъ величину; вслѣдствіе этого

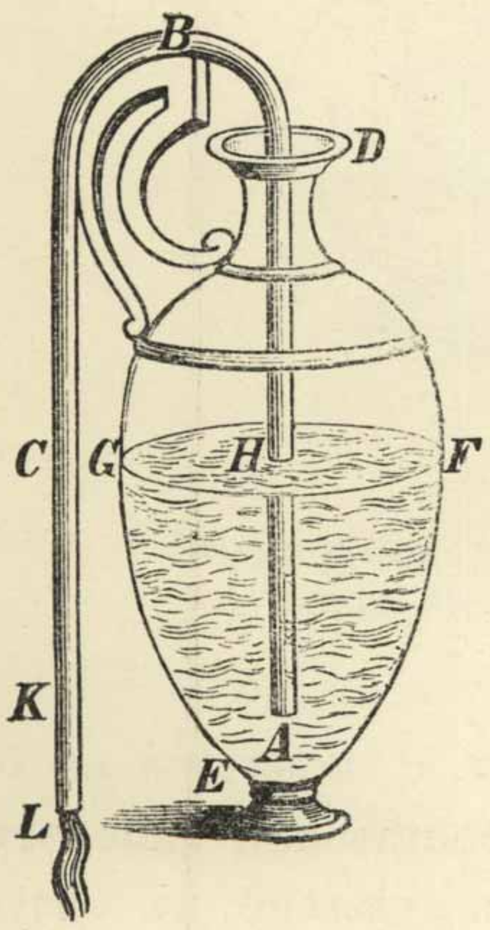
http://mathesis.ru

онѣ пріобрѣтаютъ стремленіе сократиться и втягиваютъ кожу пальца въ отверстіе бутылки. Если теперь удалить палецъ, то поры сокращаются, а извнѣ въ бутылку входитъ воздухъ.

210. Съ помощью этой теоріи Геронъ объясняетъ дѣйствіе аппаратовъ и машинъ, описанныхъ въ его замѣчательномъ сочиненіи, положившемъ начало новой эрѣ въ гидротехникѣ. Древнія водочерпалки замѣняются помпами, насосами, сифонами и т. д., причемъ въ основѣ всѣхъ этихъ приборовъ лежитъ принципъ, что воздухъ есть тѣло и что пустота можетъ существовать не въ видѣ значительныхъ пространствъ, а лишь въ видѣ поръ. Проникнутая этой теоріей, книга Герона оказывала свое вліяніе 1700 лѣтъ. И если послѣ такого долгаго промежутка времени другая теорія должна была, наконецъ, замѣнить ее, то это доказываетъ лишь то, что иногда теорія можетъ охватывать явленія въ ихъ связи, „объяснять“ ихъ очень хорошо и всетаки не быть безусловно вѣрной — когда-нибудь открываются новыя явленія, которыя эта теорія не можетъ объяснить. Тогда нужно искать новой теоріи.

211. Прежде всего Геронъ описываетъ и объясняетъ сифонъ. Перегнутая трубка $ABCKL$ (рис. 212) стоитъ однимъ колѣномъ въ сосудѣ DE, который наполненъ водою до высоты FG. Внутри этого колѣна вода стоитъ на той же высотѣ, что и въ сосудѣ. Если теперь высосать ртомъ у L часть воздуха изъ трубки, то поры въ оставшемся воздухѣ станутъ больше. Расширившись такимъ образомъ, воздухъ стремится занять свой естественный объемъ и потому втягиваетъ въ трубкѣ воду на извѣстную высоту. Если такимъ высасываніемъ удалить досточное количество воздуха, то вода наполнитъ не только колѣно HB, но и колѣно BC. Еслибы вода не пошла дальше C, то она оставалась бы на вѣсу, какъ грузъ. Вода должна была бы стремиться стекать внизъ въ обоихъ колѣнахъ, но она не можетъ раздѣлиться въ верхней части сифона, такъ какъ не можетъ существовать сколько-нибудь значительнаго пустого пространства. Еслибы, наоборотъ, въ B была просверлено въ трубкѣ отверстіе, то вода дѣйствительно стекла бы внизъ въ обоихъ колѣнахъ, причемъ воздухъ входилъ бы черезъ это отверстіе. Разъ отверстія нѣтъ, то обѣ части жидкости могутъ быть въ равновѣсіи только въ томъ случаѣ, если C находится на той же точно высотѣ, на какой лежатъ F и G. Если C лежитъ нѣсколько выше, то вода во внутренней трубкѣ увлекаетъ за собою воду во внѣшней трубкѣ. Напротивъ того, если C лежитъ нѣсколько ниже, то внѣшній столбъ воды тянетъ за собою внутренній и притомъ до тѣхъ поръ, пока конецъ L трубки лежитъ ниже поверхности воды въ сосудѣ и пока вода не понизится до конца A внутренняго колѣна.

Рис. 212



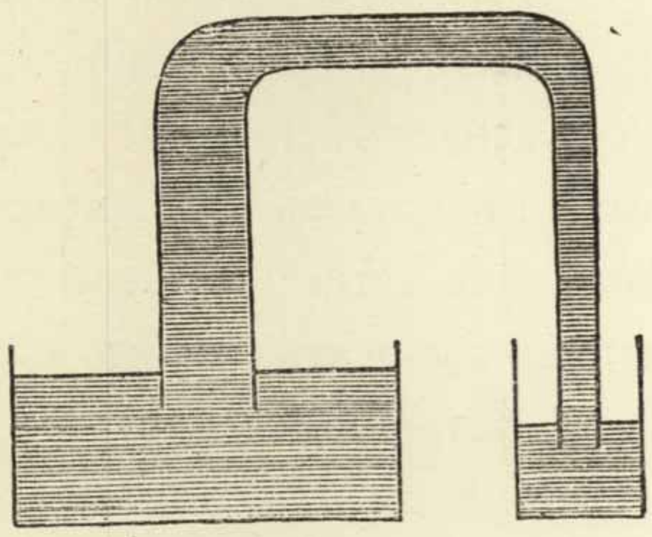
Сифонъ.

Говоря такимъ образомъ о равновѣсіи массъ воды въ обоихъ колѣнахъ, Геронъ, повидимому, не теряетъ изъ виду, что его объясненіе можетъ быть понято неправильно. А именно, онъ прибавляетъ, что не слѣдуетъ думать, будто при помощи сифона можно заставить воду вытекать изъ сосуда, сдѣлавъ внѣшнее колѣно его шире, но короче, чѣмъ внутреннее, такъ чтобы оно оканчивалось выше поверхности воды FG. Можно было бы думать, что болѣе значительное количество воды во

http://mathesis.ru

внѣшнемъ колѣнѣ должно потянуть за собою воду во внутреннемъ колѣнѣ, масса которой меньше, хотя бы внѣшнее колѣно было короче внутренняго. Имѣя въ виду это возможное недоразумѣніе, Геронъ подчеркиваетъ, что вода втекаетъ назадъ, разъ внѣшнее отверстіе лежитъ выше FG, даже если внѣшняя трубка шире внутренней. Онъ объясняетъ этотъ фактъ слѣдующимъ образомъ. Свободная поверхность всѣхъ массъ воды на землѣ, сообщающихся между собой, согласно Архимеду должна представлять шаровую поверхность, центръ которой совпадаетъ съ центромъ земли. Если изогнутую въ видѣ U трубку наполнить водой доверху, закрыть ея концы, перевернувши, поставить ее обоими колѣнами въ сосудъ съ водой (рис. 213) и затѣмъ отнять пальцы, то вода въ трубкѣ не раздѣлится, такъ какъ пустота не мо-

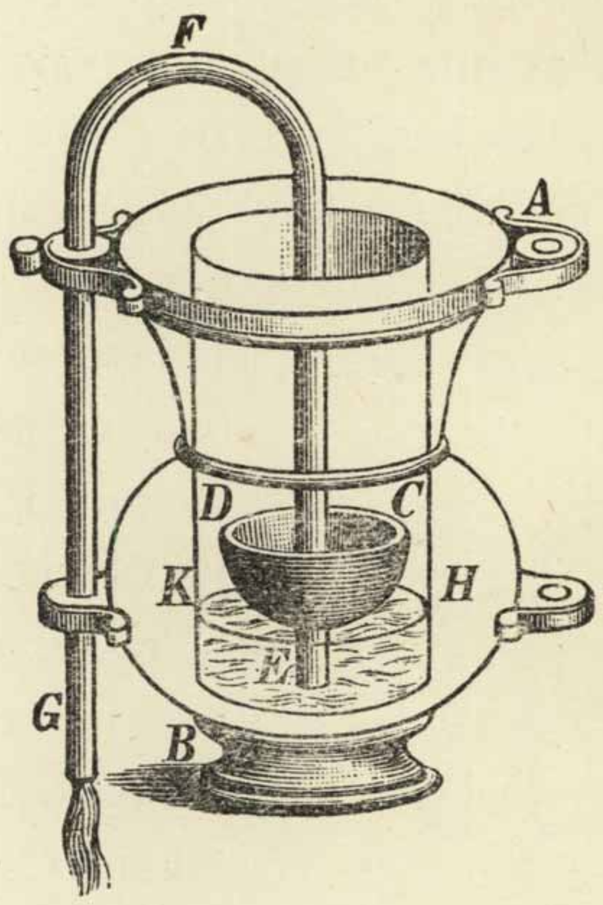
Рис. 213



Героново объясненіе сифона.

жетъ образоваться. Такимъ образомъ, находящаяся въ трубкѣ вода образуетъ соединеніе между двумя массами въ сосудахъ. Значитъ, вода не будетъ въ равновѣсіи до тѣхъ поръ, пока ея поверхность въ обоихъ сосудахъ не будетъ представлять собой одну и ту же шаровую поверхность, центръ которой находится въ центрѣ земли, т. е. пока она не будетъ находиться въ обоихъ сосудахъ въ одной и той же горизонтальной плоскости. Слѣдовательно, вода должна входить въ то колѣно, которое погружено въ сосудъ съ болѣе высокимъ уровнемъ воды, хотя бы даже это колѣно было шире. Такимъ образомъ, равновѣсіе зависитъ не отъ количества воды въ колѣнахъ трубки, а только отъ высоты воды (ср. положеніе Стевина о сообщающихся сосудахъ, § 190).

Рис. 214



Сифонъ съ равномѣрнымъ истеченіемъ воды.

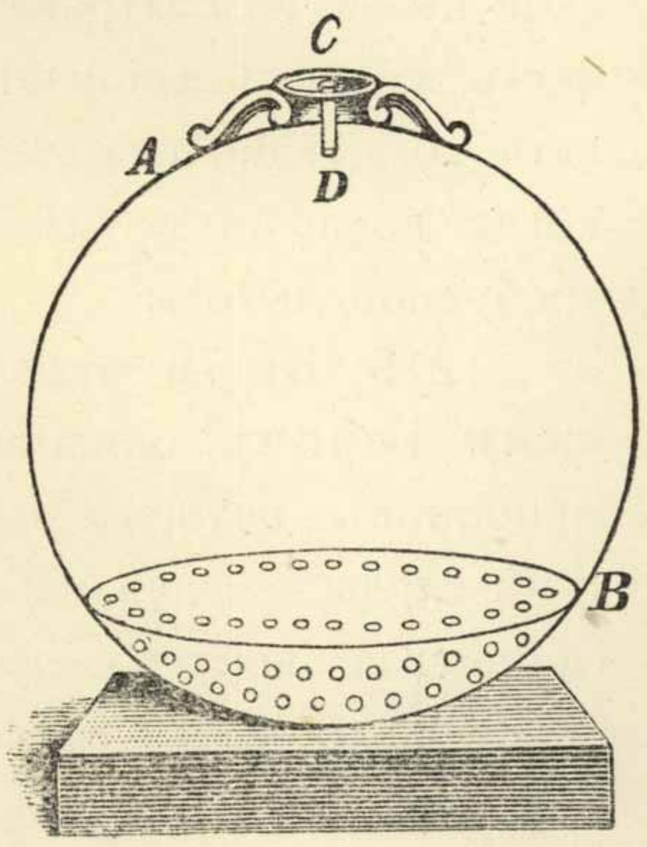
212. Такъ какъ сифонъ понижаетъ уровень воды въ сосудѣ, то вода вытекаетъ изъ него постепенно все медленнѣе. Для того, чтобы сдѣлать истеченіе воды равномѣрнымъ, Геронъ построилъ приборъ рис. 214. Внутреннее колѣно сифона оканчивается въ днѣ чашки CD, къ которому оно прикрѣплено наглухо. Эта чашка плаваетъ на водѣ въ сосудѣ и при пониженіи уровня слѣдуетъ за нимъ, такъ что сифонъ понижается настолько же, насколько и уровень воды; два кольца заставляютъ держаться его правильно, не мѣшая его опусканію. Такимъ образомъ, отверстіе внѣшняго колѣна всегда остается ниже поверхности воды на одинаковую величину.

Того же результата можно было бы добиться гораздо легче, закрѣпивъ колѣно сифона вмѣсто чашки CD на кускѣ пробки.

http://mathesis.ru

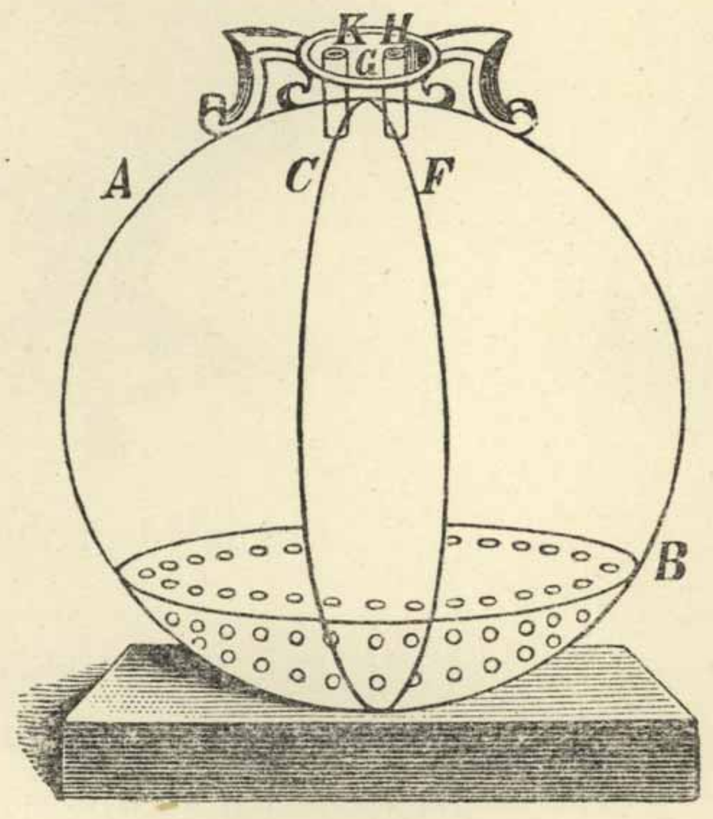
213. Геронъ описываетъ шаръ, сработанный изъ металла (мѣди), въ днѣ котораго сдѣлано много отверстій, какъ въ ситѣ (рис. 215), и который сверху снабженъ короткой трубкой *C*; ее можно закрывать пальцемъ. Если погрузить этотъ шаръ въ воду, оставивъ трубку *C* открытой, то вода входитъ снизу въ шаръ, а воздухъ выходитъ вверху сквозь трубку. Если теперь закрыть трубку *C* пальцемъ и вынуть шаръ изъ воды, то вода не будетъ вытекать изъ него, такъ какъ въ шарѣ не можетъ образоваться пустое пространство. Но если отнять палецъ отъ отверстія *C*, то вода вытечетъ изъ отверстій въ днѣ. — Одинъ такой приборъ (рис. 216), описанный

Рис. 215



Металлическій Героновъ шаръ.

Рис. 216



Магическій шаръ Герона.

Герономъ, имѣлъ внутри стѣнку, раздѣлявшую его пополамъ, а вверху двѣ трубки съ каждой стороны стѣнки. Эти двѣ половины сосуда можно наполнить разными жидкостями, напримѣръ, одну водою, а другую виномъ, и затѣмъ, открывая либо одну, либо другую трубку, можно выпускать изъ шара ту или другую жидкость по произволу.

Первый изъ этихъ приборовъ мы находимъ и въ наши дни въ такъ называемой пипеткѣ (рис. 217); взятую ею жидкость можно выпустить въ любомъ мѣстѣ и въ любомъ количествѣ.

Вторымъ приборомъ, въ нѣсколько измѣненной формѣ, пользуются фокусники для того, чтобы наливать различные сорта вина изъ одной и той же бутылки. Внутренняя часть такой бутылки состоитъ изъ нѣсколькихъ отдѣленій, каждое изъ которыхъ можетъ открываться въ горлышко бутылки отдѣльно, если наклонить бутылку и въ то же время отнять палецъ отъ отверстія къ соотвѣтственному отдѣленію бутылки.

214. Геронъ описываетъ также другой приборъ, волшебный кубокъ (рис. 218). На днѣ этого кубка укрѣплена трубка, сверху закрытая, но снизу снабженная маленькими отверстіями, сквозь которыя можетъ входить вода. Внутри этой трубки находится другая, открытая съ обоихъ концовъ. Нижній конецъ этой трубки проходитъ сквозь дно сосуда, а верхній почти достигаетъ верхняго конца внѣшней трубки. При наливаніи воды въ кубокъ, она проходитъ также въ трубку *H L*. Но когда

http://mathesis.ru

кубокъ уже почти полонъ, вода въ трубкѣ подымается такъ высоко, что попадаетъ во внутреннюю трубку сверху. Въ эту минуту обѣ трубки дѣйствуютъ, какъ сифонъ, — вода вытекаетъ и вытекаетъ до тѣхъ поръ, пока не опорожнится весь кубокъ.

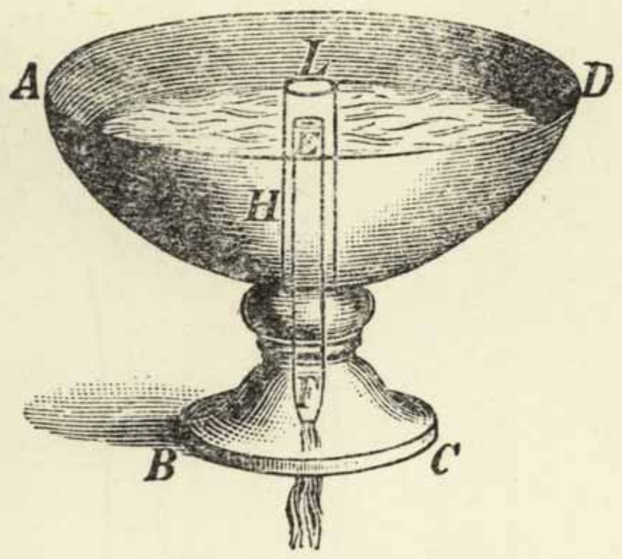
Такимъ же образомъ объясняются и перемежающіеся пруды (рис. 219), т. е. пруды, въ которыхъ вода (во время дождей) подымается до извѣстной высоты, но затѣмъ снова исчезаетъ и прудъ совершенно пустѣетъ. Въ такихъ прудахъ на днѣ находится водопроницаемый слой, который, поднявшись сначала до извѣстной высоты между двумя водонепроницаемыми слоями, ведетъ затѣмъ въ болѣе низкое мѣсто. Этотъ водопроницаемый слой нужно разсматривать какъ сифонъ, который начинаетъ дѣйствовать, когда наполняется водою, т. е. когда вода въ прудѣ достигаетъ требуемой высоты.

Рис. 217



Пипетка.

Рис. 218



Волшебный кубокъ.

215. Въ 76 отдѣлахъ своей книги Геронъ описываетъ массу приборовъ, которые въ большинствѣ случаевъ служили для производства забавныхъ опытовъ. Пропуская воздухъ, вытѣсняемый водою, сквозь флейту, онъ заставляетъ пѣть искусственныхъ птицъ. Онъ описываетъ дерево, на которомъ находился драконъ и возлѣ котораго стоялъ Геркулесъ со стрѣлою на лукѣ. Стоило поднять яблоко, лежащее подъ деревомъ, — этимъ тянется шнурокъ, Геркулесъ пускаетъ свою стрѣлу въ дракона, а драконъ испускаетъ крикъ. Эти и подобные этимъ автоматы, приводившіеся въ движеніе давленіемъ воды, указываютъ на то, что изобрѣтенные Ктезибіемъ водяные часы начали у Герона развиваться въ водяные автоматы, которые въ IX вѣкѣ, благодаря посредству арабовъ, нашли доступъ въ Европу (§ 158). Это, конечно, принесло мало пользы развитію естествознанія, но нѣсколько больше содѣйствовало развитію искусства постройки приборовъ. — О другихъ автоматахъ, приводившихся въ движеніе огнемъ, будетъ рѣчь ниже.

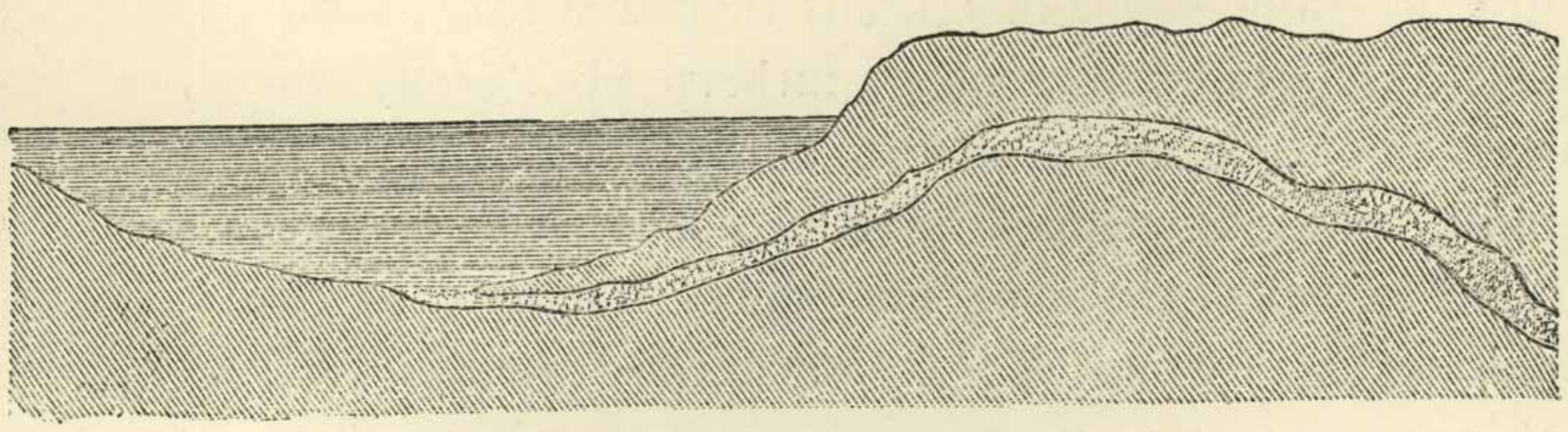
216. Въ десятомъ отдѣлѣ своей книги Геронъ описываетъ клапанъ, который съ тѣхъ поръ игралъ очень важную роль; изъ подробности, съ которой описанъ этотъ простой приборъ, можно заключить, что въ то время клапанъ представлялъ нѣчто новое. Это описаніе гласитъ слѣдующее: „изготовляютъ двѣ четыреугольныя пластинки (рис. 220) соотвѣтственной толщины, длиною въ палецъ съ каждой стороны. Своими поверхностями онѣ пригоняются другъ къ другу и пришлифовываются такъ, что между ними не можетъ пройти ни воздухъ, ни вода. Пусть эти пластинки будутъ $ABCD$ и $EFGH$. Въ одной изъ нихъ, именно $ABCD$, просверлено круглое отверстіе въ одну треть пальца шириной. Край CD соединенъ при помощи шарнира съ краемъ FE, такъ что отшлифованныя стороны металлическихъ пластинокъ ложатся одна на другую. Когда хотятъ воспользоваться этими клапанами, то пластинку $ABCD$ наглухо припаиваютъ къ отверстію, сквозь которое долженъ входить въ сосудъ воздухъ или вода. Въ такомъ случаѣ при давленіи изнутри пластинка $EFGH$

http://mathesis.ru

открывается и пропускаетъ воздухъ или воду. Но затѣмъ давленіе воздуха или воды будетъ прижимать пластинку $EFGH$ къ отверстію, сквозь которое входитъ воздухъ или вода“.

Весьма замѣчательно, помимо подробности этого описанія, то обстоятельство, что Геронъ описываетъ клапанъ, какъ отдѣльный приборъ. Это описаніе образуетъ въ книгѣ самостоятельный отдѣлъ и клапанъ не обозначается въ немъ, какъ составная часть какого-нибудь опредѣленнаго прибора. Слѣдующіе затѣмъ приборы также

Рис. 219

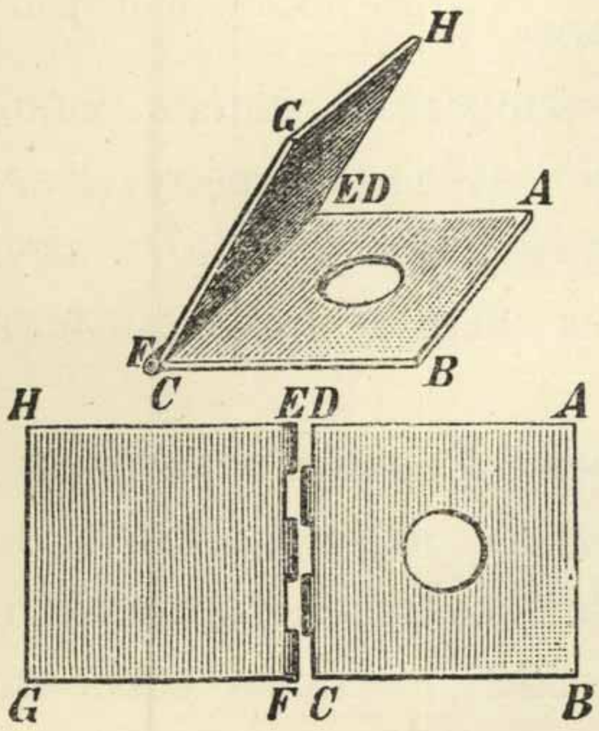


Перемежающійся прудъ.

не имѣютъ клапановъ. Только въ дальнѣйшихъ отдѣлахъ сочиненія появляются такіе приборы и клапанъ упоминается тогда, какъ нѣчто извѣстное изъ предшествующихъ отдѣловъ.

Это напоминаетъ общеупотребительный пріемъ греческихъ математиковъ начинать съ простыхъ вещей, которыя сами по себѣ образуютъ нѣчто цѣлое, и затѣмъ уже переходить къ предметамъ, составленнымъ изъ этихъ простыхъ. Это описаніе Герона показываетъ, во всякомъ случаѣ, что онъ разсматриваетъ клапанъ не какъ приборъ, составляющій принадлежность пожарнаго насоса, а какъ приборъ, имѣющій общее приложеніе, когда нужно ввести давленіемъ воздухъ или воду въ сосудъ или закрыть ихъ тамъ.

Рис. 220.



Клапанъ.

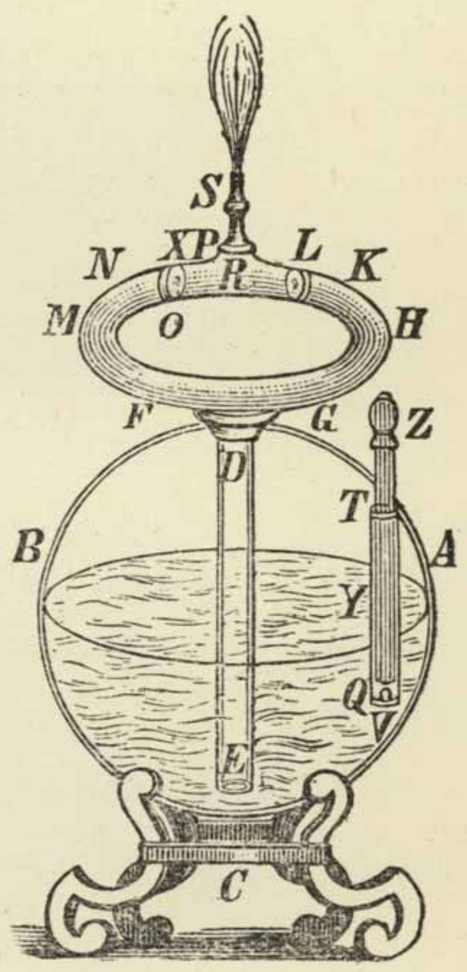
Клапаны, которые употребляются и теперь въ насосахъ и т. п., имѣютъ въ существенномъ то же устройство; только неподвижная часть $ABCD$ обыкновенно состоитъ изъ простого куска желѣза или дерева съ отверстіемъ, а подвижная часть $EFGH$ состоитъ изъ куска кожи, укрѣпленнаго съ одной стороны. Чтобы движеніе кожанаго клапана происходило правильнѣе, его часто покрываютъ сверху и снизу деревяннымъ или металлическимъ кружкомъ, такъ что закрываетъ собственно только кожа по краямъ, непокрытая нижнимъ кускомъ металла или дерева (ср. рис. 226 и 227).

217. Изъ сочиненія Герона не видно, чтобы въ его время было извѣстно понятіе „крана“. Правда, Геронъ въ нѣсколькихъ мѣстахъ описываетъ нѣчто такое, что можно считать краномъ, но эти описанія въ различныхъ приборахъ различны. Можно отмѣтить здѣсь, какъ тяжело переходить отъ многихъ отдѣльныхъ приспособленій, служащихъ для одной и той же цѣли, къ одному общему представленію и общимъ обозначеніямъ, если даже такой математикъ, какъ Геронъ, не имѣетъ еще одного

http://mathesis.ru

общаго наименованія для крана. Теперь мы привыкли считать кранъ особымъ приспособленіемъ даже и тогда, когда онъ составляетъ часть сложной машины. Въ слѣдующемъ приборѣ мы находимъ приспособленіе, дѣйствіе котораго гораздо проще могъ бы выполнить кранъ.

218. Геронъ описываетъ полый шаръ, изъ котораго вода можетъ выбрасываться на большую высоту, пока шаръ совершенно не опорожнится. Крѣпкій шаръ AB (рис. 221) на подставкѣ C имѣетъ вверху отверстіе. Въ это отверстіе впаяна трубка DE, доходящая почти до самаго дна. Вверху она развѣтвляется въ трубки GHL и FMX, которыя оканчиваются въ L и X узкими отверстіями. Между этими концами вдѣлана трубка XRL съ боковой трубкой RS. Эта трубка также имѣетъ по одному маленькому отверстію на каждомъ концѣ, которое приходится на соотвѣтственныя отверстія первой трубки, когда RS направлена вверхъ, но не приходится на послѣднія отверстія, а закрываетъ ихъ, когда трубка XRL обращена концомъ RS внизъ. Кромѣ того, въ этотъ шаръ наглухо впаяна трубка TV. Внизу она закрывается клапаномъ, открывающимся внутрь шара. Въ трубку TV можетъ вдвигаться, не пропуская воды, стержень Z. Сначала наливаютъ въ шаръ воду сквозь трубку TV, направивъ RS вверхъ для того, чтобы воздухъ, мѣсто котораго занимаетъ вода, могъ выходить наружу. Затѣмъ RS поворачиваютъ внизъ, чѣмъ закрываютъ отверстія въ X и L, и вдвигаютъ сверху стержень Z въ трубку TV. Благодаря этому вода вдавливается сквозь клапанъ въ шаръ. Если затѣмъ снова потянуть стержень Z вверхъ, то вода не послѣдуетъ за нимъ, такъ какъ ее задержитъ клапанъ. Но воздухъ въ шарѣ занимаетъ теперь меньше, чѣмъ свое „естественное“ пространство (§ 209), и потому давитъ на воду. Наливъ нѣсколько разъ въ трубку TV воды и введя эту воду внутрь, повертываютъ трубку XRL концомъ RS вверхъ. Воздухъ внутри шара давитъ на воду и выбрасываетъ ее въ отверстіе S.



Героновъ шаръ.

Рис. 221

Изъ такихъ описаній можно заключить, что во времена Герона уже были хорошіе работники по металлу. Съ другой стороны интересно также замѣтить, какъ упростился этотъ приборъ съ теченіемъ времени. При той склянкѣ, которая такъ часто употребляется въ химическихъ лабораторіяхъ (рис. 222), металлическій шаръ замѣненъ стекляннымъ сосудомъ, одна изъ двухъ впаянныхъ металлическихъ трубокъ — стеклянною трубкою df, проходящею сквозь пробку, стержень Z человѣческими легкими, а трубка съ развѣтвленіями и узенькимъ кончикомъ — просто загнутою и оттянутою стеклянною трубкою ab. Можно было бы также придѣлать кранъ къ трубкѣ, изъ которой вытекаетъ вода, но это лишнее. Если нужно прекратить истеченіе воды, то просто перестаютъ вдувать воздухъ.

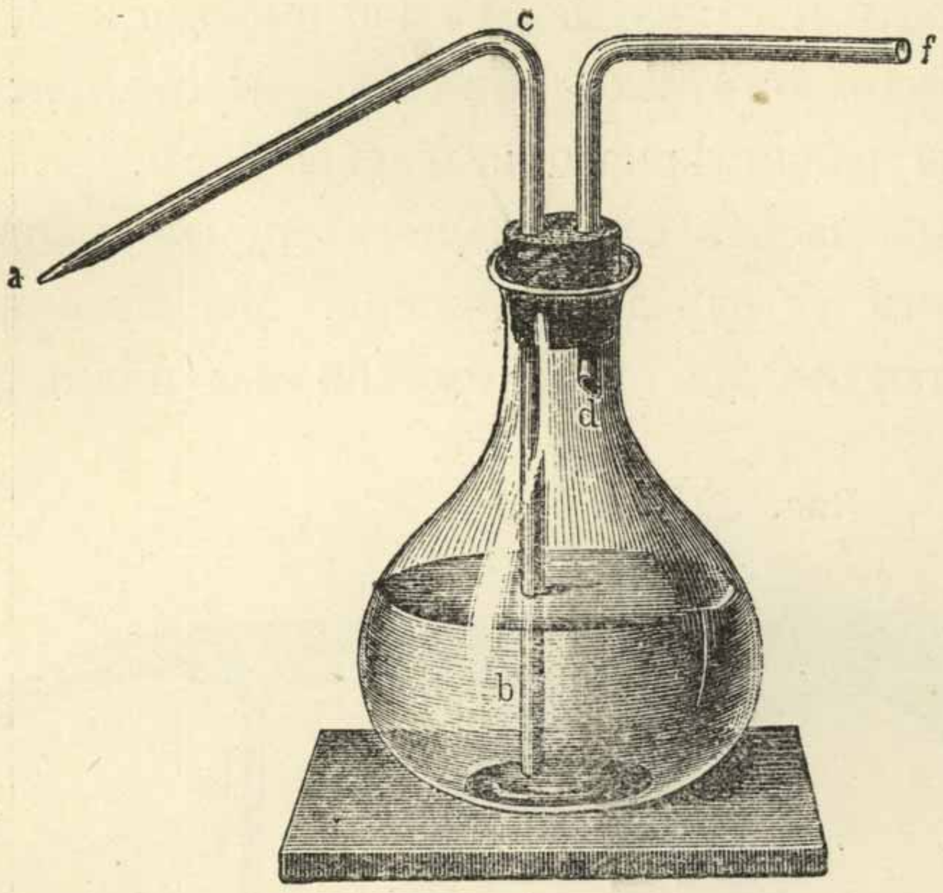
Еще проще этой склянки такъ называемый Героновъ шаръ съ одною только трубкой (рис. 223), сквозь которую сначала вдувается воздухъ и изъ которой затѣмъ вода выбрасывается сжатымъ воздухомъ. Если нужно остановить истеченіе воды, то отверстіе стеклянной трубки просто закрываютъ пальцемъ.

219. Пожарный насосъ описывается Герономъ приблизительно въ слѣдующемъ

http://mathesis.ru

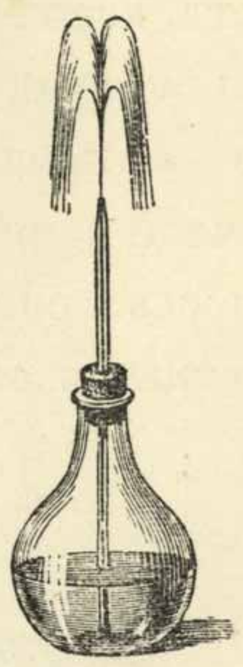
видѣ. Два цилиндра AD и EH (рис. 224), хорошо отполированные изнутри и снабженные плотно входящими поршнями K и M, соединены трубкой PR. Эти цилиндры находятся на подставкѣ, помѣщенной въ водѣ. Вода черезъ клапаны можетъ входить въ цилиндры, но не можетъ выходить изъ нихъ. Кромѣ того, на каждомъ

Рис 222



Лабораторный сосудъ для наливанія воды.

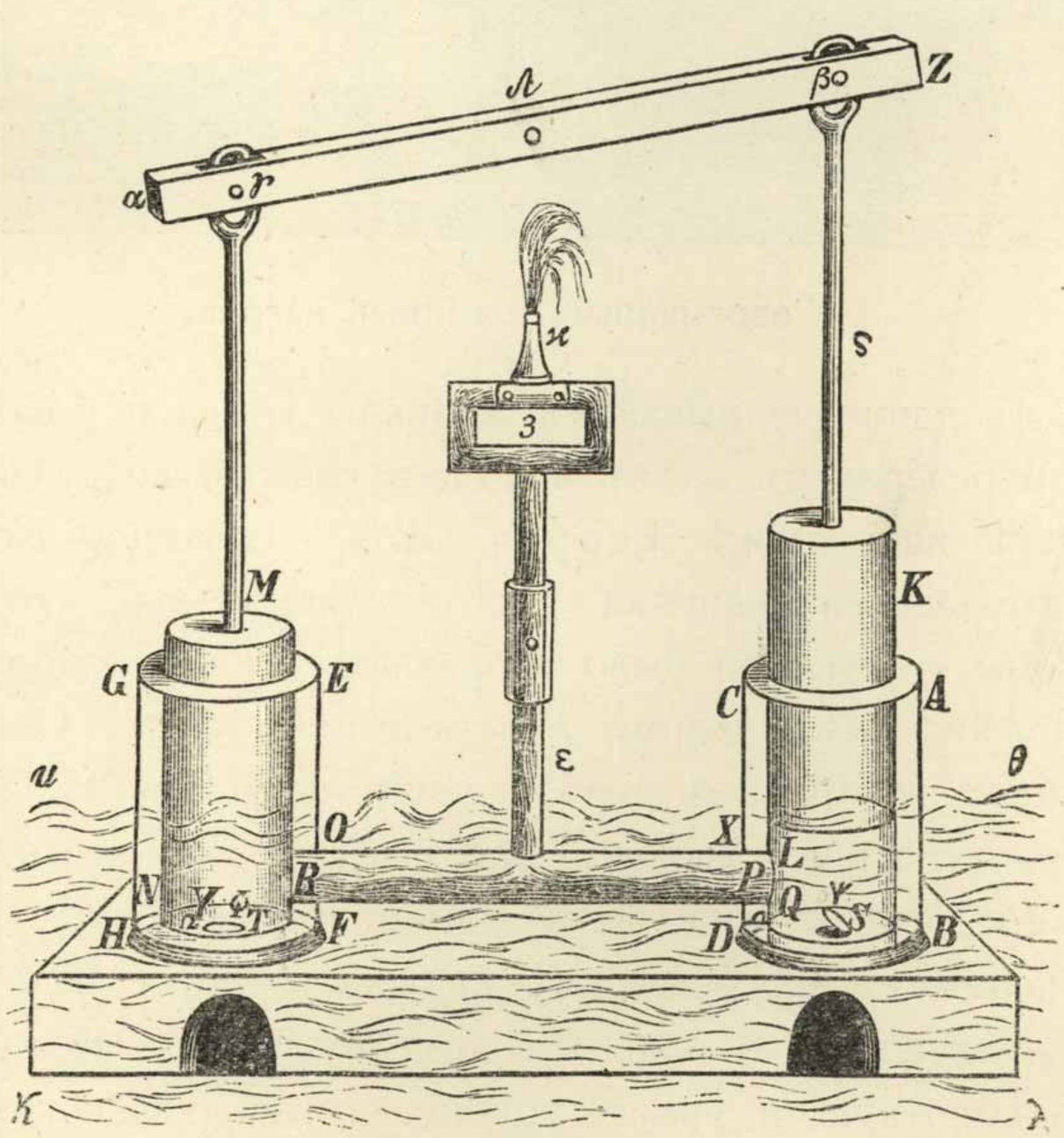
Рис. 223



Героновъ шаръ съ одной трубкой.

концѣ трубки PR находится клапанъ, благодаря которому вода можетъ входить изъ цилиндра въ трубку, но не можетъ выходить изъ трубки въ цилиндръ. Отъ сере-

Рис. 224



Пожарный насосъ Герона.

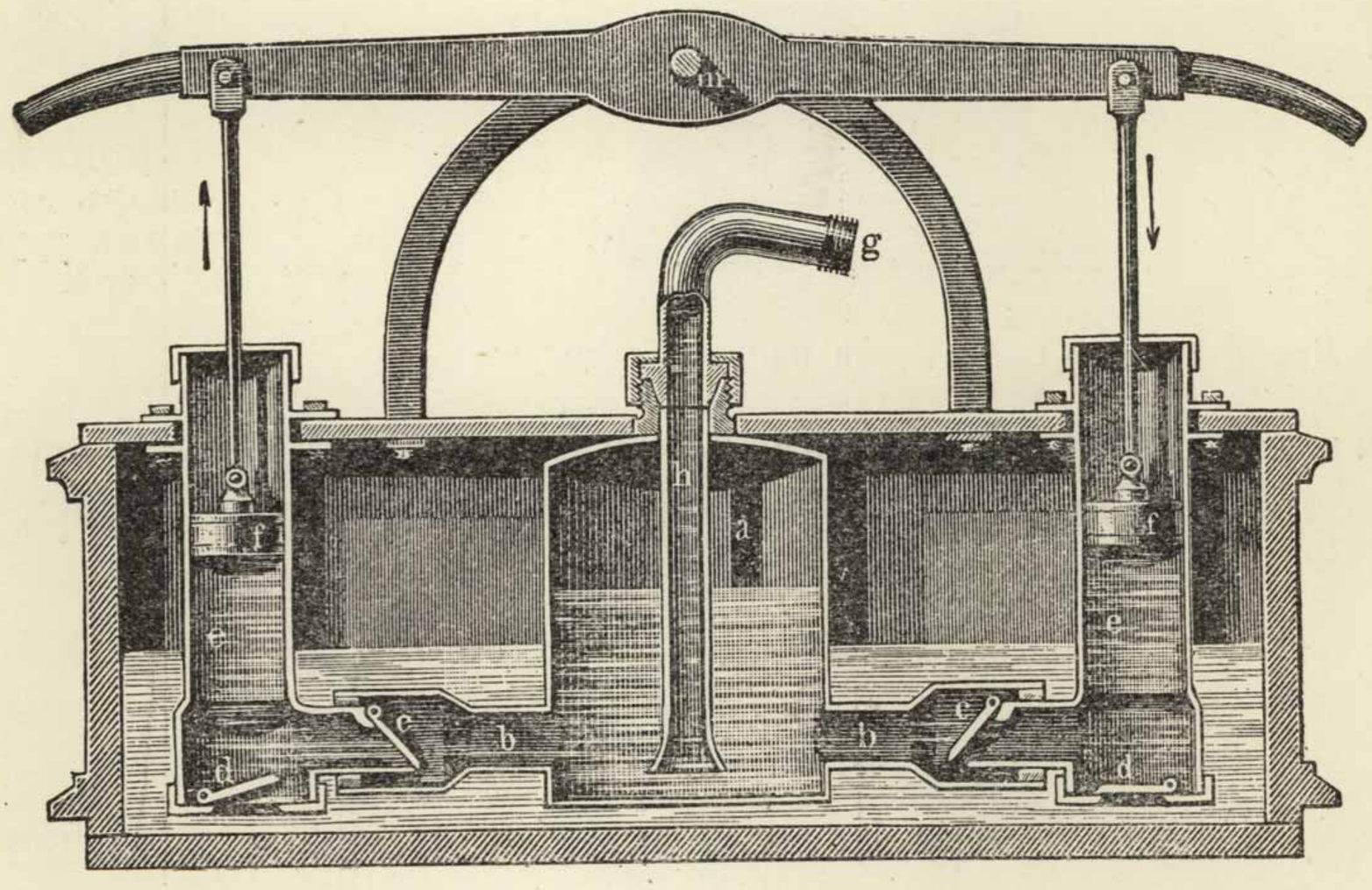
дины трубки PR подымается вверхъ другая трубка, которая оканчивается, какъ и трубка на рис. 221, развѣтвленіемъ и узкимъ наконечникомъ. Стержни поршней

http://mathesis.ru

вверху прикрѣплены къ поперечному стержню, который качается около своей середины, какъ коромысло вѣсовъ, и движеніе котораго поперемѣнно подымаетъ и опускаетъ поршни въ цилиндрахъ. Когда поршень подымается, вода черезъ клапанъ на днѣ вступаетъ въ цилиндръ. Когда поршень опускается, вода вдавливается сквозь боковой клапанъ въ трубку PR и въ трубку съ развѣтвленіями и наконечникомъ, которая идетъ вверхъ. Такъ какъ Геронъ указываетъ на рисунокъ 221, не повторяя описанія наново, то, можетъ быть, онъ уже и здѣсь умѣлъ пристраивать резервуаръ со сжатымъ воздухомъ для равномѣрнаго истеченія воды.

Какъ мало измѣнился пожарный насосъ съ теченіемъ времени, видно изъ изображенія насоса, рис. 225, какъ онъ устраивается теперь. Мы находимъ здѣсь тѣ же существенныя части и даже въ такомъ же расположеніи: два цилиндра съ порш-

Рис. 225



Современный пожарный насосъ.

нями, приводимые въ движеніе рычагомъ, клапаны у дна и боковую трубку съ клапанами. Воздушный резервуаръ a, изъ котораго сжатый воздухъ выбрасываетъ воду наружу, отсутствуетъ на рисункѣ Герона, хотя возможно, что въ самомъ насосѣ онъ былъ. Относительно наконечника Геронъ замѣчаетъ, что онъ долженъ быть устроенъ такъ, чтобы его можно было направлять во всѣ стороны. Поэтому выдающаяся часть его должна имѣть форму Γ (греческой буквы „Гамма“) и должна вращаться около нижней внутренней неподвижной части трубки. Въ этомъ отношеніи современный насосъ усовершенствованъ еще больше, такъ какъ рукавъ, навинчивающійся у g (рис 225), имѣетъ еще болѣе свободное движеніе.

220. Въ пожарномъ насосѣ мы имѣемъ уже и нагнетательный насосъ. Это тотъ же аппаратъ, служащій только для другой цѣли; а именно, онъ не выбрасываетъ воду сквозь короткую и узкую трубку, а вдавливаетъ ее въ длинную подъемную трубку. Для этой цѣли пользуются обыкновенно однимъ цилиндромъ, такъ что аппаратъ очень простъ, какъ показываетъ рис. 226. Цилиндръ имѣетъ въ днѣ клапанъ надъ трубкой, которая всасываетъ воду, и боковой клапанъ въ подъемной трубкѣ. Когда поршень подымается, вода по всасывающей трубкѣ вступаетъ черезъ

http://mathesis.ru

донный клапанъ въ цилиндръ, такъ какъ въ цилиндрѣ не можетъ образоваться безвоздушное пространство. Когда поршень движется внизъ, послѣдній клапанъ захлопывается и вода вытѣсняется черезъ боковой клапанъ въ подъемную трубку. Послѣдняя часто снабжается воздушнымъ резервуаромъ, какъ пожарный насосъ; благодаря этому, дѣйствіе движенія поршня въ подъемной трубкѣ ослабляется и вода подымается вверхъ болѣе равномѣрно.

Рис. 226

Нагнетательный насосъ.

221. Когда и какъ развился всасывающій насосъ, неизвѣстно. На рис. 227 изображенъ такой насосъ, сдѣланный изъ дерева. Теперь эти насосы часто дѣлаются изъ желѣза. Всасывающая трубка *a* закрыта внизу сѣткой, не позволяющей твердымъ тѣламъ попадать въ насосъ. Верхній конецъ всасывающей трубки закрывается клапаномъ, который открывается вверхъ. Въ то же время онъ является доннымъ клапаномъ для болѣе тщательно сработанной части насоса, въ которой происходитъ движеніе поршня. Самый поршень также просверленъ и наверху на немъ находится клапанъ, открывающійся вверхъ. Когда поршень подымается (при опусканіи рукоятки), то подъ нимъ не образуется безвоздушное пространство, а вода подымается въ трубку съ поршнемъ сквозь всасывающую трубку и донный клапанъ. Когда поршень опускается, то вода проходитъ сквозь него въ верхнюю часть цилиндра. Съ каждымъ движеніемъ поршня, такимъ образомъ, надъ нимъ собирается все больше воды и, когда она достигаетъ достаточной высоты, она начинаетъ выливаться изъ боковой трубки. Пока въ помпѣ нѣтъ воды, клапаны и поршень не закрываются вполнѣ и потому въ помпу передъ началомъ работы вливаютъ немного воды.

222. Въ то самое время, когда Стевинъ и Галилей снова брались за гидростатику, въ Европѣ въ теченіе нѣсколькихъ лѣтъ появился цѣлый рядъ переводовъ сочиненій Герона частью на латинскій языкъ, частью на другіе европейскіе языки. Нѣкоторые изъ этихъ переводовъ содержатъ бо́льшія или меньшія добавленія, въ которыхъ сообщаются позднѣйшія изобрѣтенія. Обыкновенно въ этихъ книгахъ преслѣдуются практическія цѣли, такъ что въ этомъ возрожденіи Герона проявляется стремленіе заставить силы природы работать на пользу человѣка. Въ то время, какъ водяные часы развивались у арабовъ и у европейцевъ въ настоящія созданія искусства, все больше и больше начинали пользоваться естественнымъ паденіемъ воды для того, чтобы приводить въ движеніе бо́льшія машины и производить болѣе значительныя работы. На рис. 228, 229, 230, 232 и 233 изображены примѣры изъ этихъ добавленій къ переводамъ Герона. Рис. 228 показываетъ, какъ при помощи нагнетательныхъ насосовъ вода подымается на „башню любой высоты“. Поршни движутся посредствомъ четырехъ ломанныхъ колѣнчатыхъ валовъ, изображенныхъ на рисункѣ отдѣльно слѣва. Ось, на которой находятся эти валы, приводится въ движеніе подливнымъ и наливнымъ водяными колесами. Очевидно, рисунокъ долженъ былъ изобразить оба рода водяныхъ колесъ.

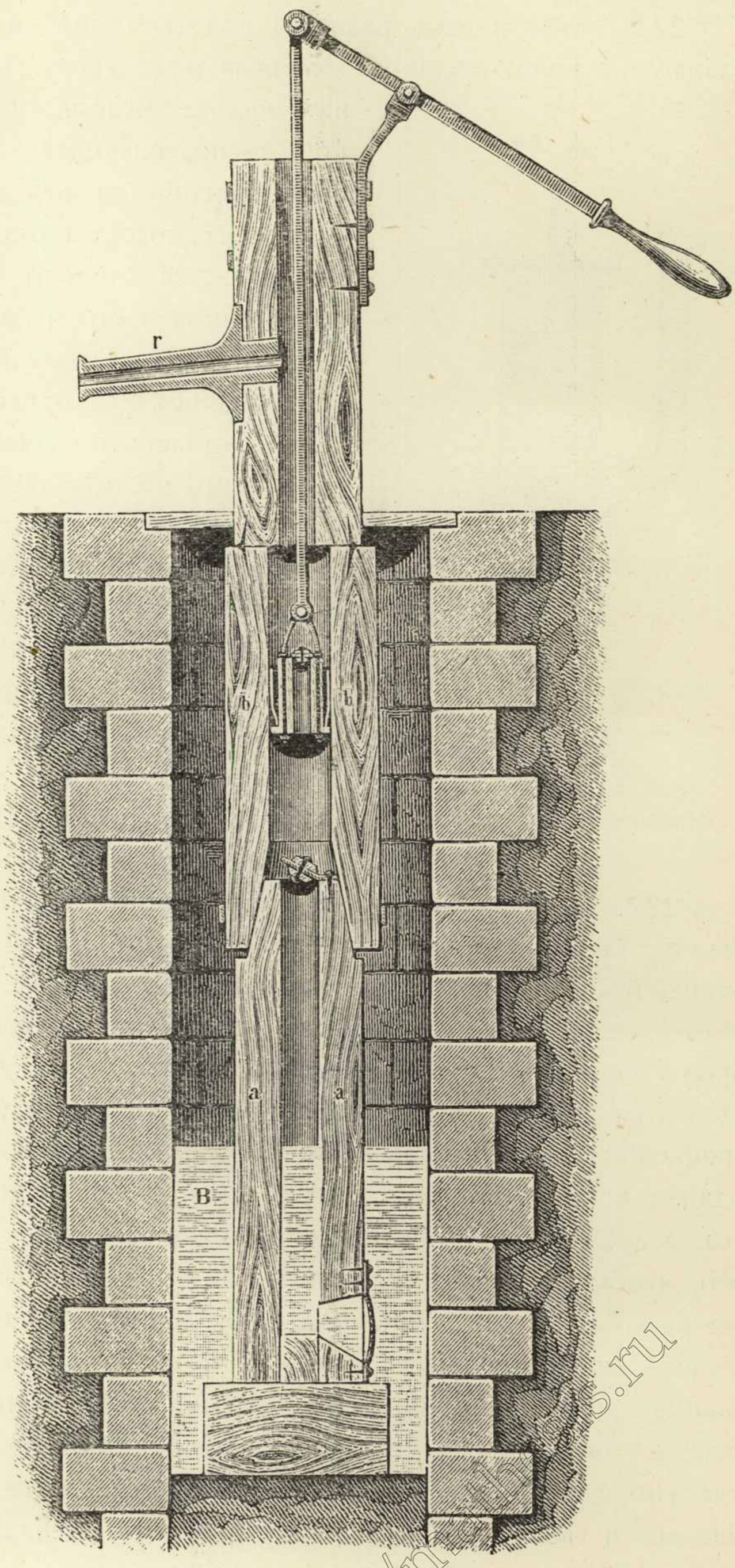
Въ „добавленіяхъ“ описывается много двигателей (моторовъ), т. е. машинъ,

http://mathesis.ru

дающихъ движущую силу, а также много рабочихъ машинъ, т. е. машинъ, которыя переводятъ движеніе въ работу.

Рис. 229 показываетъ водяное колесо, которое при каждомъ своемъ оборотѣ при помощи насаженнаго на валъ зуба *C*, подымаетъ молотъ *E*. Этотъ молотъ, освобождаясь, падаетъ всей своей тяжестью на кусокъ желѣза, который кузнецъ кладетъ на наковальню. Вѣроятно, подливное водяное колесо древнѣе всѣхъ другихъ водяныхъ колесъ. Оно употреблялось, повидимому, на Тибрѣ возлѣ Рима въ VI вѣкѣ по Р. Х. Въ этомъ колесѣ погруженныя въ струю воды лопатки приводятся въ движеніе теченіемъ рѣки.

Рис. 227



Всасывающій насосъ.

223. Встрѣчаются иногда также описанія и иныхъ двигателей, помимо водяныхъ. Такъ, въ добавленіяхъ можно найти ступальныя мельницы, которыя приводятся въ движеніе людьми или животными. Рис. 230 представляетъ ступальную мельницу, которая приводится въ движеніе человѣкомъ и заставляетъ двигаться мукомольню. Можно также найти изображенія ступальной мельницы съ лошадью, а также коннаго привода. Послѣдній, однако, не представляетъ ничего новаго, какъ видно изъ рис. 231, изображающаго размолъ зерна въ древнемъ Римѣ.

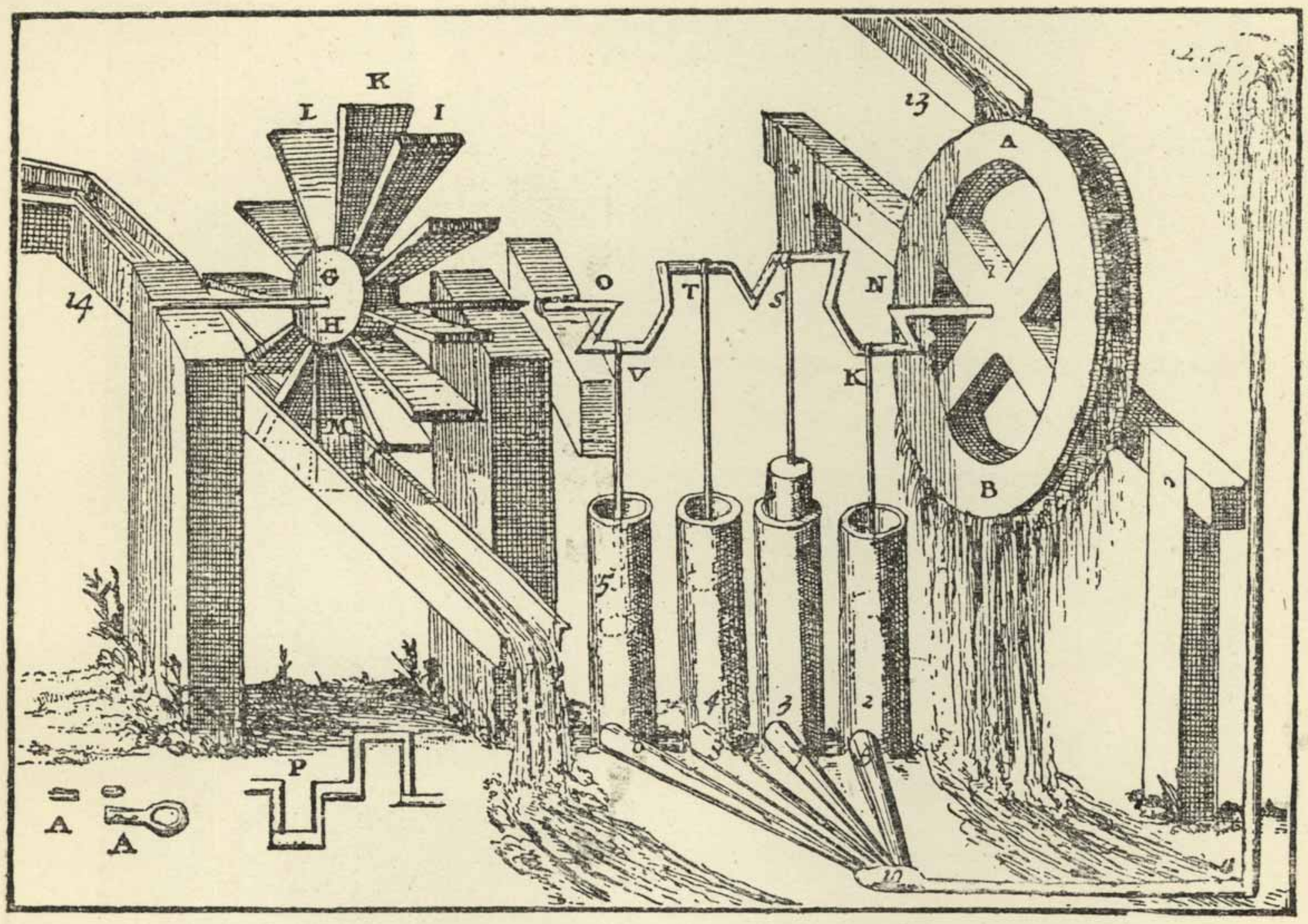
224. „Добавленія“ сообщаютъ далѣе, что въ тѣхъ странахъ, гдѣ нѣтъ водяныхъ потоковъ съ достаточнымъ уклономъ, пользовались также силой вѣтра. Послѣднее

http://rutlib2.ru

относится также къ азіатскимъ странамъ (Персія), гдѣ, вѣроятно, и зародилась вѣтряная мельница. Отсюда она перешла къ арабамъ.

Вашингтонъ Ирвингъ сообщаетъ объ этомъ въ своей исторіи калифовъ слѣдующее: „Въ числѣ персовъ, приведенныхъ въ рабство въ Мединy, находился одинъ человѣкъ, по имени Фирусъ, принадлежавшій къ сектѣ маговъ или огнепоклонниковъ. Получивъ отъ своего господина приказъ отдавать изъ своего ежедневнаго заработка двѣ серебряныя монеты господину, онъ обратился съ жалобой на это къ Омару. Калифъ спросилъ о его занятіяхъ и, узнавъ, что онъ былъ плотникъ,

Рис. 228



Насосы, приводимые въ движеніе водяными колесами.

искусный въ постройкѣ вѣтряныхъ мельницъ, отвѣтилъ, что человѣкъ, отличающійся въ такомъ ремеслѣ, можетъ выплачивать двѣ серебряныхъ монеты совершенно свободно. Разъяренный этимъ приговоромъ, Фирусъ двумя днями позже убилъ калифа въ мечети. Это произошло на 23 году Геджры или въ 644 году по Р. Х“.

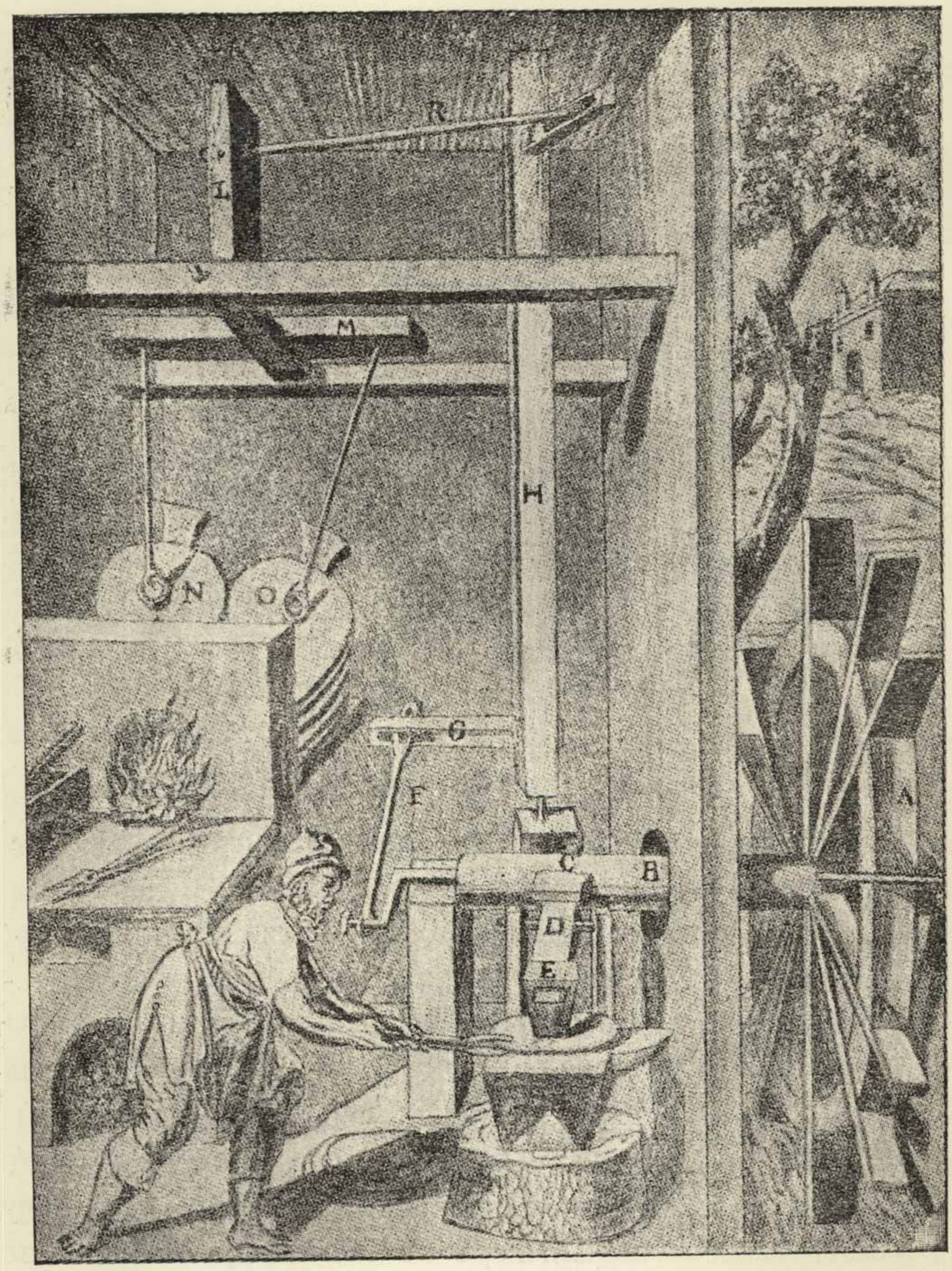
Во время крестовыхъ походовъ европейцы познакомились съ вѣтряной мельницей и имѣются опредѣленныя указанія, что она была извѣстна во Франціи въ 1105 году, а въ Англіи въ 1143 году. Но, вѣроятно, еще много лѣтъ она принадлежала къ величайшимъ рѣдкостямъ, такъ какъ извѣстно, что нѣкій Бартоломео Верде рекомендовалъ венеціанцамъ построить вѣтряную мельницу въ 1332 году и что вѣтряная мельница была построена въ Шпейерѣ въ 1393 году. Но съ возобновленіемъ изученія Герона началось движеніе и здѣсь. Сначала надо было сдѣлать мельницу вращающейся соотвѣтственно направленію вѣтра. Такъ называемыя мельницы на козлахъ, рис. 232, могутъ вращаться около вертикальной стойки. „Голландская“ вѣтряная мельница изобрѣтена, повидимому, во Фландріи около 1650 г. Въ этой мельницѣ поворачивается къ вѣтру только крыша и крылья, остальная же часть мельницы остается неподвижной. Мельница, изображенная на рис. 233, приводитъ въ движеніе особую помпу (такъ называемую четковую помпу, Paternoster). Безконечная веревка

http://mathesis.ru

усажена шарами на равныхъ разстояніяхъ. Эта веревка огибаетъ два колеса, изъ которыхъ на рисункѣ видно только верхнее. Нижнее колесо, невидимое на рисункѣ, находится въ водѣ. Верхнее колесо приводится мельницею во вращеніе и часть веревки, идущая вверхъ, движется внутри гладкой трубы. Діаметръ этой трубы только немного больше діаметра шаровъ и при сколько-нибудь быстромъ движеніи веревки вода увлекается шарами вверхъ.

Эти и многія другія добавленія къ Герону, очевидно, обозначаютъ собою раз-

Рис. 229



Молотовая мельница.

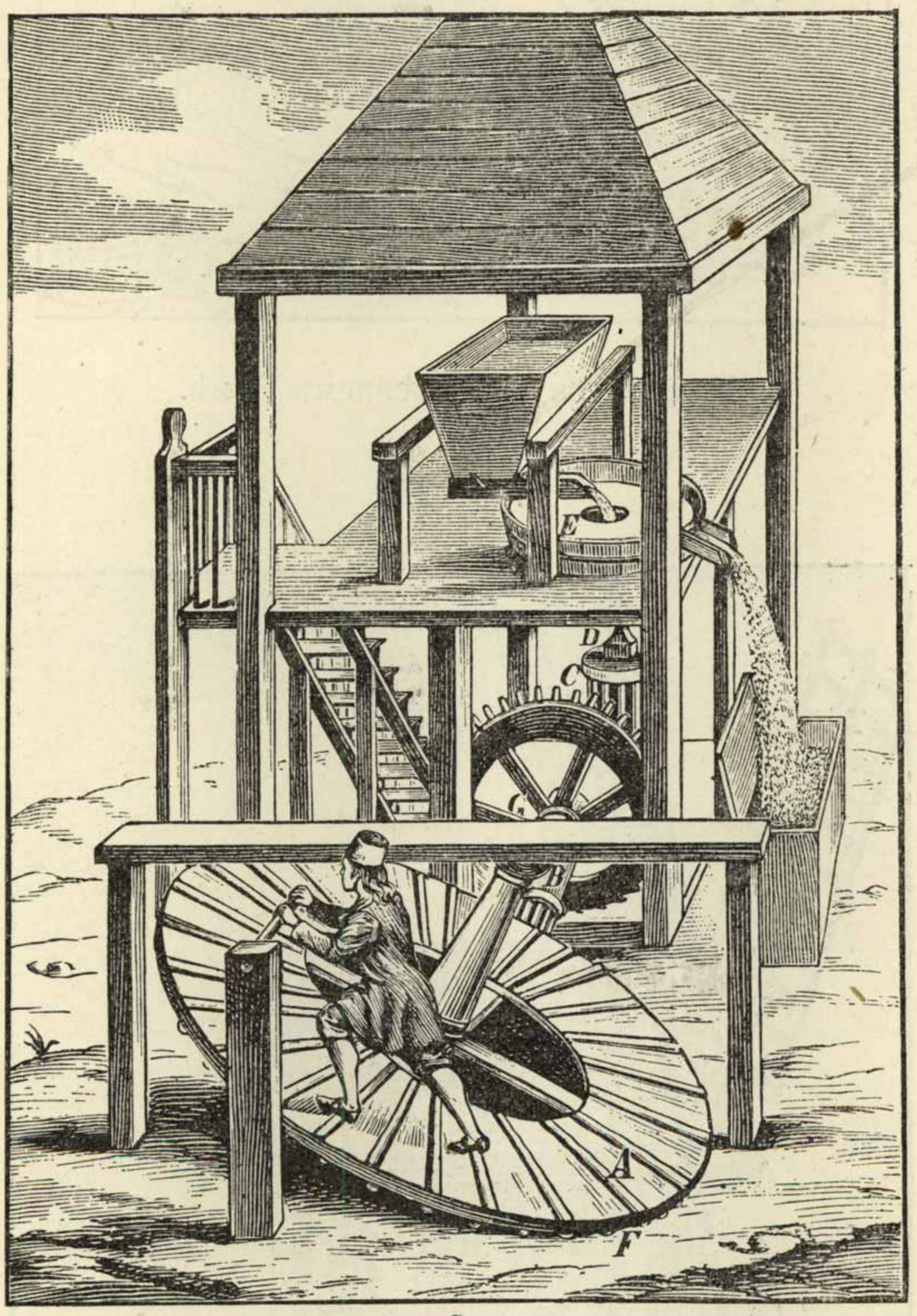
витіе машинъ и двигателей вообще. Въ этомъ развитіи игралъ роль и Соломонъ де Ко, о которомъ будетъ рѣчь ниже. Онъ также старался примѣнить на практикѣ указанія Герона относительно дѣйствія теплоты на пары. Мы встрѣчаемъ его, такимъ образомъ, въ ряду людей, занимавшихся приложеніями силы пара. Но прошло

http://mathesis.ru

много лѣтъ, прежде чѣмъ паровая машина стала на ту же высоту, что и названные двигатели, и, наконецъ, далеко превзошла ихъ.

225 Ремесла существовали, конечно, задолго до эпохи Возрожденія. Что въ древности были превосходные ремесленники, показываютъ сохранившіеся остатки ихъ дѣятельности въ Египтѣ, Помпеяхъ и другихъ мѣстахъ. Равнымъ образомъ давно существовали и нѣкоторые двигатели, напримѣръ, конный приводъ, водяное колесо и вѣтряная мельница. Но удивительно, какъ усердно занимались въ XVI и XVII вѣкахъ описаніемъ этихъ практическихъ приспособленій (двигателей и рабочихъ машинъ) въ

Рис. 230



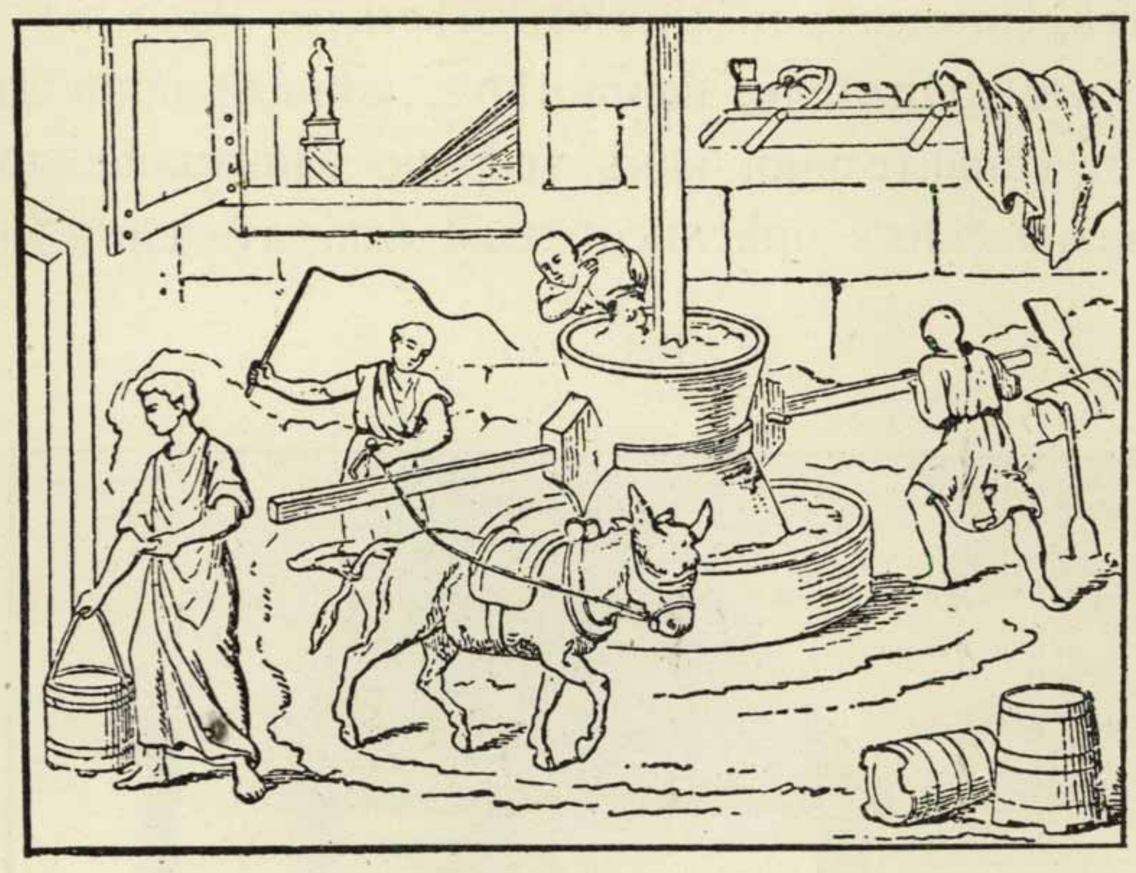
Ступальная мельница.

добавленіяхъ къ сочиненію математика и физика Герона, хотя многія изъ нихъ не имѣли никакого отношенія къ этому сочиненію. Въ то время какъ бы чувствовалась потребность привести въ связь съ наукой всю начинавшую развиваться технику и одновременно засвидѣтельствовать свое отношеніе къ наукѣ, какъ къ руководительницѣ. Съ этого времени теорія и практика постоянно находились въ плодотворной связи другъ съ другомъ. Наука извлекала для себя пользу изъ опытовъ промышленниковъ и инженеровъ, а успѣхи науки часто находили быстрое приложеніе на практикѣ, послѣ того какъ люди практики поняли, что завоеванія науки имѣютъ часто огромное практическое значеніе, хотя бы даже они казались иногда совсѣмъ ничтож-

http://mathesis.ru

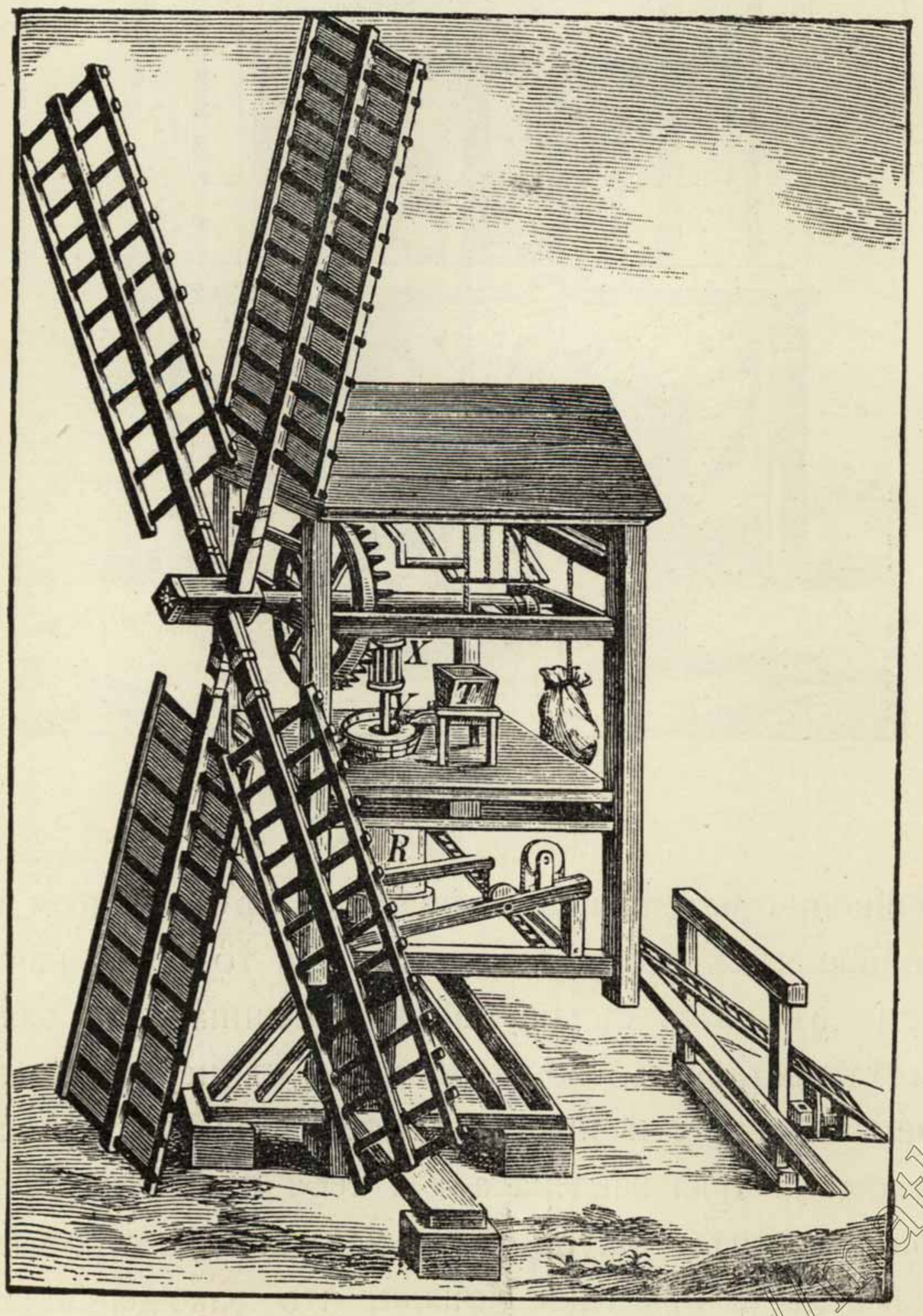
ными. Это взаимодѣйствіе привело къ значительнымъ результатамъ. Тѣ 200 или 300 лѣтъ, которыя протекли съ того времени, кажутся короткимъ промежуткомъ време-

Рис. 231



Мукомольня въ древнемъ Римѣ.

Рис. 232



Мельница на козлахъ.

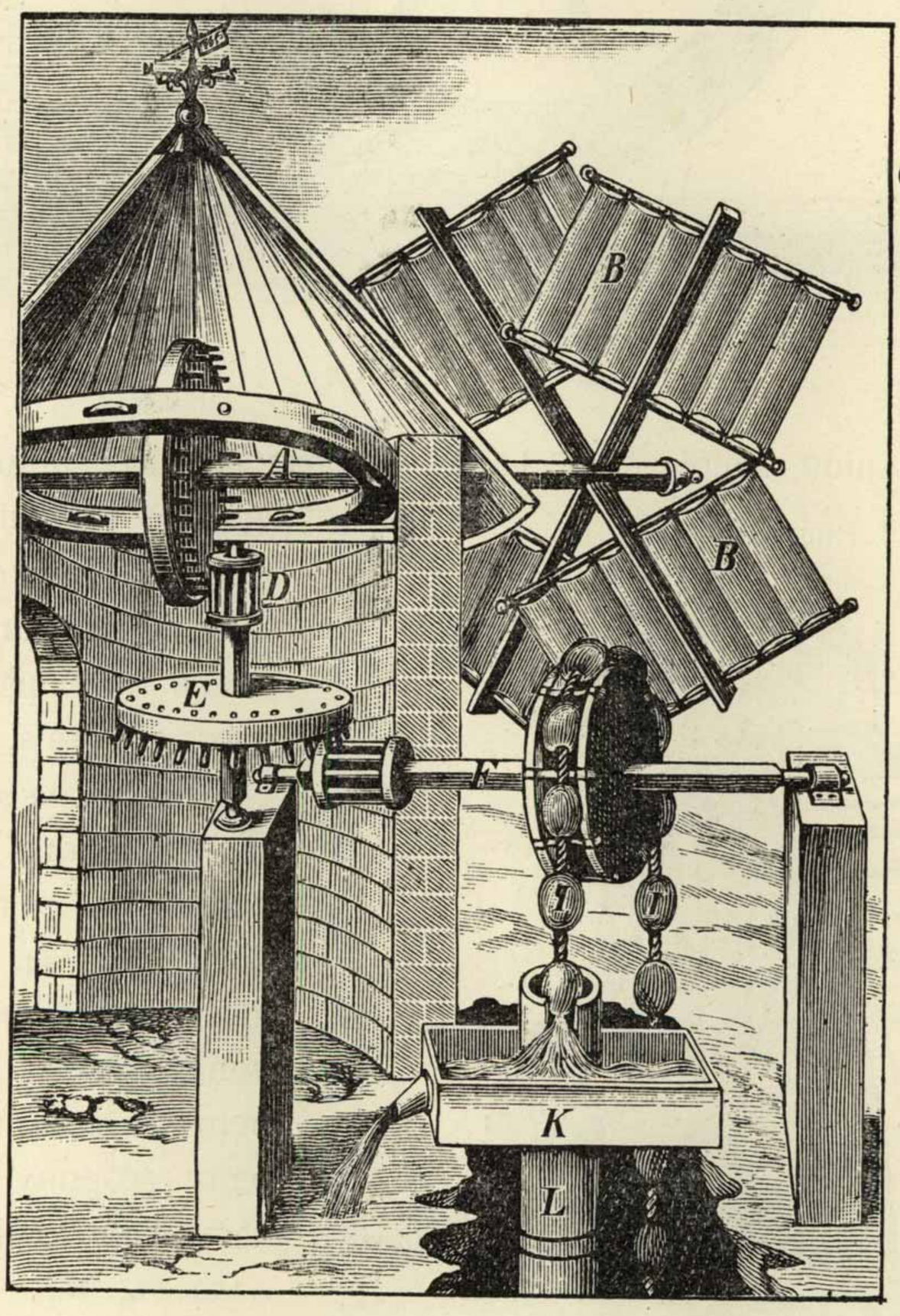
http://mathesis.ru

ни, если сравнить успѣхи въ познаніи и покореніи природы, сдѣланные за это время, съ тѣмъ, что дали предшествующія тысячелѣтія.

226. Вмѣстѣ съ постояннымъ расширеніемъ приложенія силы воды естественно возникъ вопросъ о величинѣ полезнаго дѣйствія, что̀ необходимо приводило къ ясному опредѣленію понятія работы. Каждый фунтъ воды, могущій упасть на величину одного фута, имѣетъ способность произвести работу, которую назвали фунтофутомъ. При счетѣ граммами и метрами за единицу работы принимается килограмметръ.

Если водяной потокъ доставляетъ въ секунду 1200 литровъ воды, которая падаетъ на водяное колесо съ высоты 2 *м*, то эта струя производитъ работу въ 2400

Рис. 233



Голландская вѣтряная мельница.

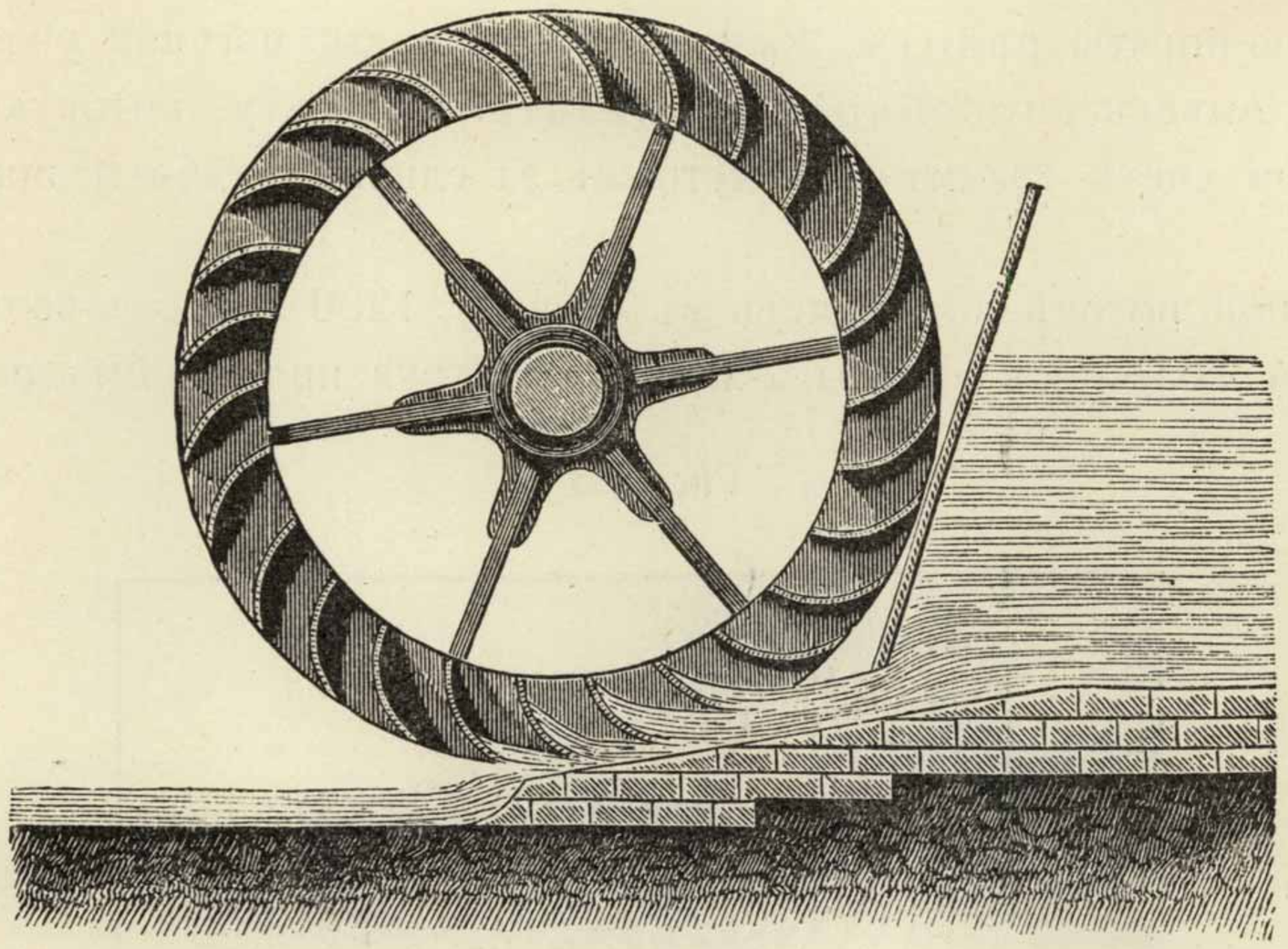
килограмметровъ въ секунду. Ни одна водяная мельница не можетъ дать полнаго полезнаго дѣйствія. Дѣйствительное полезное дѣйствіе обыкновенно даютъ въ процентахъ работоспособности, какъ она опредѣляется массой воды и высотой паденія.

Для возможнаго повышенія полезнаго дѣйствія жолобу, который приводитъ воду къ лопаткамъ колеса, даютъ такую форму, чтобы онъ прилегалъ къ колесу возможно плотнѣе. Однако, избѣжать потери значительнаго количества работоспособности нельзя отчасти вслѣдствіе удара о лопатки, отчасти потому, что колесо не

http://mathesis.ru

можетъ прилегать къ жолобу совершенно плотно, главнымъ же образомъ потому, что отработавшая вода стекаетъ съ колеса съ значительной скоростью и, значитъ,

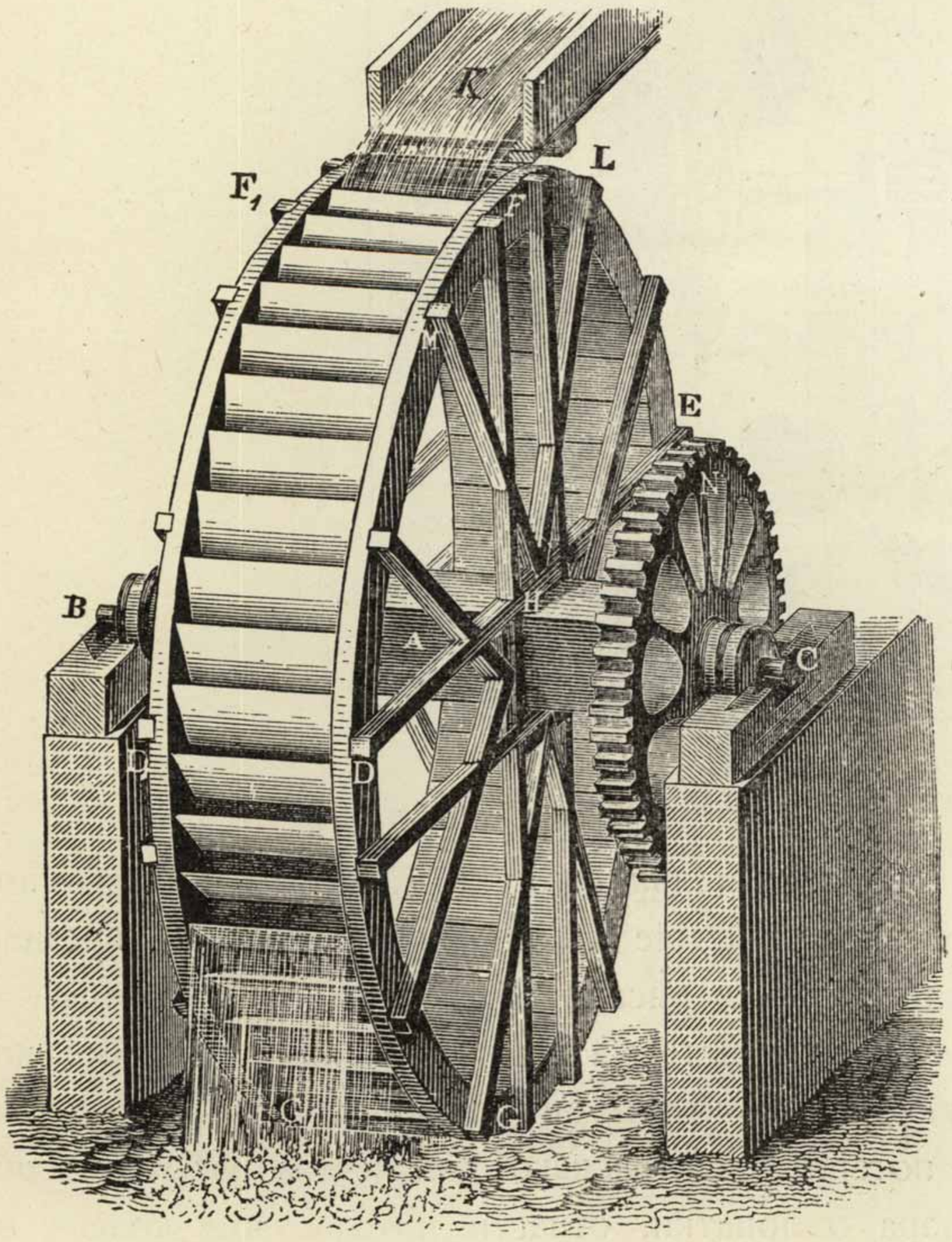
Рис. 234



Колесо Понселе.

обладаетъ еще большой энергіей (§ 182), которая для мельницы пропадаетъ. Наилучшее подливное колесо, предложенное Понселе, рис. 234, (французскій математикъ, 1788 — 1867), даетъ приблизительно 55% полезнаго дѣйствія.

Рис. 235



Наливное водяное колесо.

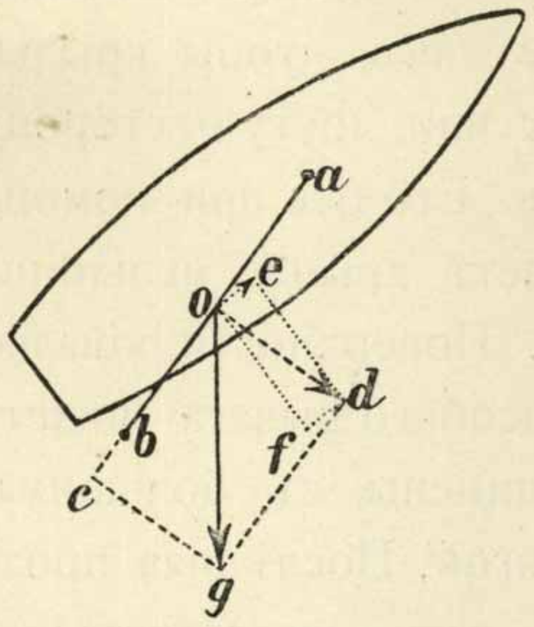
Нѣсколько благопріятнѣе условія наливного колеса. Его можно построить такъ, что его окружность будетъ состоять изъ большого числа водяныхъ камеръ. Вода попадаетъ изъ жолоба въ эти камеры и давитъ своимъ вѣсомъ на одну сторону колеса. Но и здѣсь часть работоспособности воды пропадаетъ, такъ что въ наилучшемъ случаѣ получается 83% полезнаго дѣйствія (рис. 235).

227. При использованіи силы вѣтра дѣло состоитъ въ томъ, чтобы передать на крылья мельницы, а отъ послѣднихъ на ось, часть той энергіи, которою обладаютъ частицы движущагося воздуха, благодаря своей скорости.

http://mathesis.ru

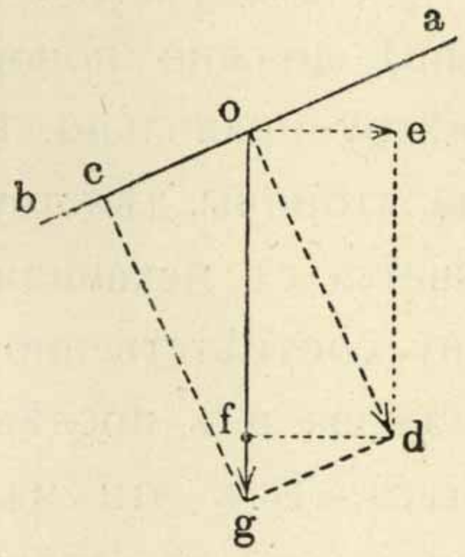
Задолго до того, какъ стала извѣстна вѣтряная мельница, вѣтромъ, какъ двигателемъ, пользовались на парусныхъ судахъ. Чтобы понять это дѣйствіе, нужно обратиться къ предложенію о параллелограммѣ силъ (§ 176). Пусть $a\,b$ (рис. 236) будетъ парусъ (видъ сверху) и пусть $o\,g$ представляетъ давленіе вѣтра на парусъ по величинѣ и по направленію. Это давленіе можно разложить на составляющія $o\,c$ и $o\,d$.

Рис. 236



Дѣйствіе вѣтра на парусъ.

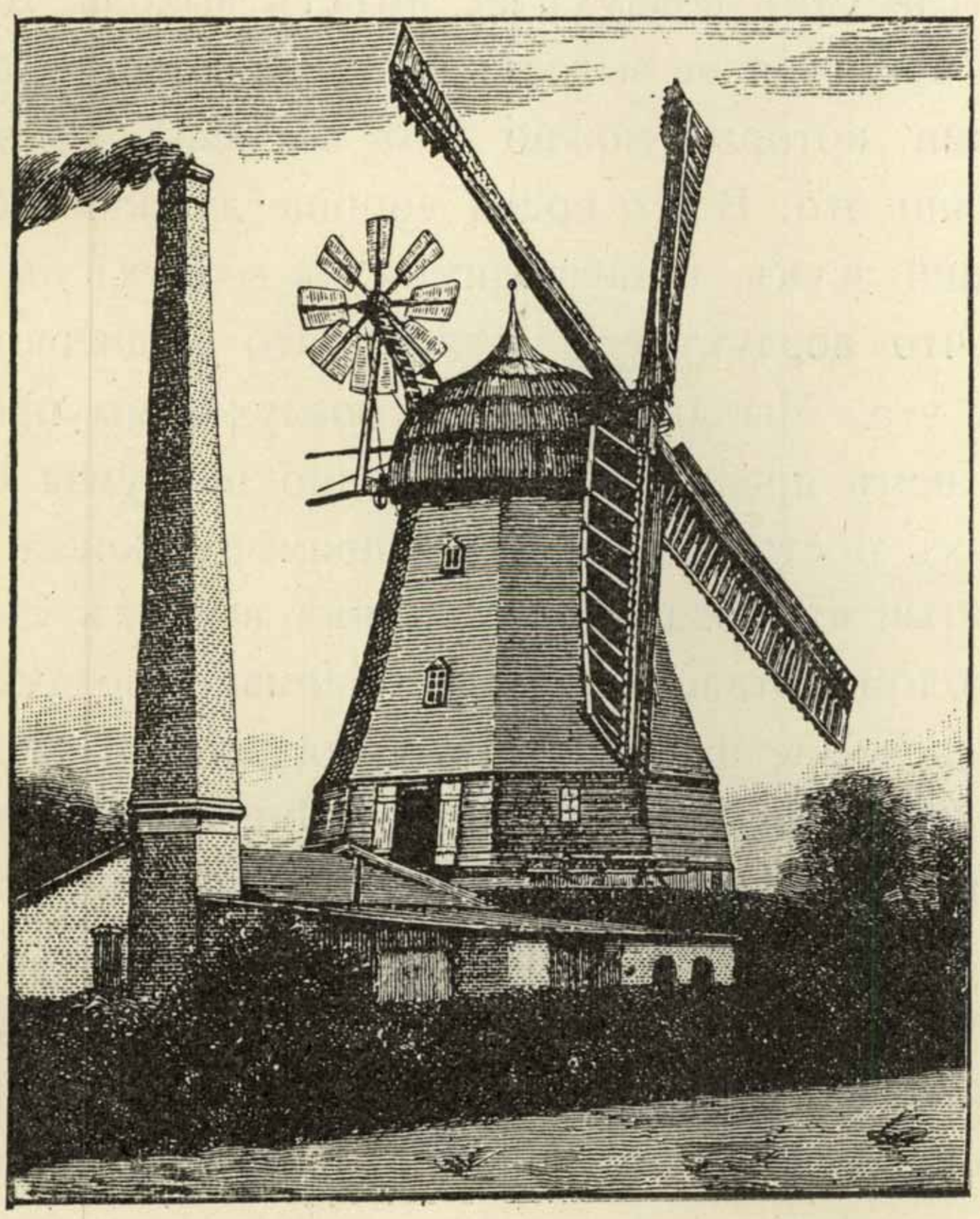
Рис. 237



Дѣйствіе вѣтра на крылья мельницы.

Только послѣдняя составляющая производитъ давленіе на парусъ, а, слѣдовательно, и на судно, на которомъ укрѣпленъ парусъ. Сила $o\,d$ разлагается еще разъ на двѣ составляющихъ, изъ которыхъ одна, $o\,e$, идетъ по направленію длины корабля, а другая, $o\,f$, перпендикулярна къ ней. Первая гонитъ судно впередъ, второ-

Рис. 238



Вѣтряная мельница.

рая — въ сторону, но немного, такъ какъ по всей своей конструкціи судно можетъ двигаться въ водѣ бокомъ только съ трудомъ. Какъ видно изъ рис 236, судно можетъ идти впередъ и по косому направленію относительно вѣтра.

Подобнымъ же образомъ объясняется дѣйствіе вѣтра на крылья вѣтряной мельницы. Если на рис. 237 $o\,g$ представляетъ направленіе и величину вѣтра и въ то же время и направленіе оси крыльевъ вѣтряной мельницы, то $o\,g$ разлагается на $o\,c$ (недѣйствительное) и на $o\,d$, а послѣдняя слагающая снова разлагается на $o\,f$ и $o\,e$. Послѣдняя составляющая и приводитъ крылья въ движеніе.

На самомъ дѣлѣ дѣло обстоитъ не такъ просто ни съ парусным судномъ, ни съ вѣтряной мельницей. Дѣйствіе движущагося воздуха — увеличеніе давленія съ одной стороны и уменьшеніе его съ другой — очень слож-

http://mathesis.ru

но. Объясненіе, приведенное выше, можетъ дать общее понятіе объ этихъ явленіяхъ, но, собственно, эти отношенія требуютъ гораздо болѣе основательной разработки или же приходится довольствоваться эмпирическими измѣреніями этихъ дѣйствій. Давленіе на поверхность $a\,b$ (рис. 237) вовсе не равно $o\,d$ и, кромѣ того, воздушный потокъ на другую сторону $a\,b$, гдѣ вѣтеръ разрѣжаетъ воздухъ, производитъ всасывающее дѣйствіе; это всасываніе тянетъ крылья впередъ.

На рис. 238 изображена современная вѣтряная мельница. Небольшое вѣтряное колесо на крышѣ должно поворачивать эту крышу такъ, чтобы крылья всегда становились къ вѣтру правильно. Оно движется въ ту или другую сторону, смотря по тому, съ какой стороны дѣйствуетъ на него вѣтеръ. Его ось при помощи зубчатыхъ колесъ соединяется съ механизмомъ, который двигаетъ крышу мельницы въ ту или другую сторону соотвѣтственно направленію вѣтра. Поверхности крыльевъ состоятъ изъ жалузи. Каждая изъ послѣднихъ при помощи особаго рычага можетъ открываться и закрываться. Всѣ эти маленькіе рычаги соединены съ большимъ стержнемъ, который, въ свою очередь, соединяется съ особой тягой. Послѣдняя проходитъ сквозь дыру вала колеса. Грузъ, дѣйствующій на главную тягу, заставляетъ жалузи закрываться, а вѣтеръ заставляетъ ихъ открываться. Такимъ образомъ, когда вѣтеръ силенъ, то онъ откроетъ жалузи, больше или меньше. Благодаря этому же приспособленію, вѣтеръ не можетъ оказывать также слишкомъ сильнаго дѣйствія на мельницу.

Воздушный океанъ

228. Когда Геронъ говоритъ (§ 209), что воздухъ есть тѣло, которое мѣшаетъ, напримѣръ, водѣ войти въ сосудъ, если самъ воздухъ не имѣетъ выхода, то это не представляетъ совершенной новости; Геронъ и не выдаетъ этого за новость, а говоритъ, что между различными воззрѣніями, которыя можно себѣ составить на этотъ счетъ, онъ считаетъ справедливымъ именно это. Въ то время вообще думали такъ же мало, какъ и теперь, о томъ, что свистящій звукъ, производимый въ воздухѣ быстродвижущейся палкой, уже доказываетъ, что воздухъ есть тѣло и что подчеркнутыя Герономъ явленія также доказываютъ это. Мы движемся въ воздухѣ, мы простираемъ въ воздухѣ руки и двигаемъ въ немъ предметы, совершенно не думая о существованіи воздуха. Только при особыхъ обстоятельствахъ, напримѣръ, когда буря грозитъ опрокинуть насъ или когда сжатый въ воздушномъ огнивѣ воздухъ съ шумомъ выбрасываетъ поршень, мы мимоходомъ отдаемъ немного вниманія воздуху.

Этотъ вопросъ обсуждали многіе греческіе философы и Аристотелю казалось даже, что онъ доказалъ существованіе вѣса воздуха на опытѣ. Именно, онъ взвѣшивалъ пузырь сначала пустой, а затѣмъ раздутый, слѣдовательно, наполненный воздухомъ, и нашелъ, что въ послѣднемъ состояніи онъ вѣсилъ больше, чѣмъ въ первомъ. Но это, можетъ быть, происходило отъ ошибки взвѣшиванія, такъ какъ пустой и надутый пузырь вообще должны показывать на вѣсахъ одинаковый вѣсъ. Конечно, воздухъ имѣетъ вѣсъ, такъ что наполненный воздухомъ пузырь тяжелѣе пустого, но нужно думать, что взвѣшиваніе производилось въ воздухѣ, а здѣсь должно было имѣть мѣсто то же, что и при взвѣшиваніи въ водѣ: тѣло теряетъ въ своемъ вѣсѣ столько, сколько вѣситъ вытѣсняемый имъ воздухъ. Но такъ какъ воздухъ, содержащійся въ надутомъ пузырѣ, вѣситъ почти какъ разъ столько же, сколько и воздухъ, вытѣсняемый пузыремъ, то едвали можетъ обнаружиться разница между пустымъ пузы-

http://mathesis.ru

ремъ и пузыремъ, наполненнымъ воздухомъ. Впрочемъ, возможно также, что въ опытѣ, который производилъ Аристотель, воздухъ въ пузырѣ былъ нѣсколько сжатъ и потому имѣлъ нѣсколько бо̀льшій вѣсъ, чѣмъ воздухъ, вытѣсняемый надутымъ пузыремъ.

Во всякомъ случаѣ, Геронъ указалъ хорошія основанія считать воздухъ тѣломъ и опытъ, произведенный Аристотелемъ, повидимому, подтверждалъ это.

229. Галилей первый дѣйствительно доказалъ, при помощи взвѣшиванія, что воздухъ имѣетъ вѣсъ. Для этого опыта онъ пользовался не пузыремъ, а бутылкой, слѣдовательно, сосудомъ, который всегда имѣетъ одинъ и тотъ же объемъ, независимо отъ того, наполненъ ли онъ воздухомъ или нѣтъ. Поэтому сила, подымающая его въ воздухѣ вверхъ, остается въ обоихъ случаяхъ одна и та же, тогда какъ вѣсъ содержимаго измѣняется.

Галилей сжималъ воздухъ въ бутылкѣ и нашелъ, что она отъ этого дѣлалась тяжелѣе. Взвѣсивъ ту же самую бутылку, наполненную водой, онъ нашелъ, что вода вѣситъ въ 400 разъ больше, нежели воздухъ. Это число, быть можетъ, и вѣрно, но оно не имѣетъ никакой цѣны, такъ какъ въ одной и той же бутылкѣ можно сжать очень различныя количества воздуха. Галилей предлагаетъ еще другой способъ, а именно, сначала взвѣсить бутылку съ обыкновеннымъ (не сжатымъ воздухомъ), а затѣмъ выгнать воздухъ изъ бутылки посредствомъ нагрѣванія. Этотъ методъ взвѣшиванія „обыкновеннаго“ воздуха былъ бы хорошъ, еслибы дѣйствительно нагрѣваніемъ можно было выгнать воздухъ совершенно. Однако, это невозможно, а во времена Галилея другихъ средствъ для удаленія воздуха не знали.

230. Здѣсь нужно упомянуть о другомъ изслѣдованіи Галилея, касающемся, правда, совершенно другой области, но стоящемъ въ извѣстной связи съ указанными взвѣшиваніями, хотя Галилей и не замѣчалъ существованія такой связи.

Между прочимъ, Галилей изучалъ твердость тѣлъ и изслѣдовалъ, какая сила нужна, чтобы разломать или разрушить тѣло. Ему, правда, не удалось разобраться въ этихъ соотношеніяхъ столь же совершеннымъ образомъ, какъ въ явленіяхъ движенія, но онъ все же сдѣлалъ нѣсколько правильныхъ наблюденій, какъ, напримѣръ, то, что полая внутри балка имѣетъ бо̀льшую крѣпость, чѣмъ массивная балка того же вѣса и такой же длины. Онъ указываетъ при этомъ на цѣлесообразность того, что кости, перья птицъ и многіе стебли растеній внутри пусты. Далѣе онъ говоритъ, что двѣ балки одинаковаго вещества и одинаковаго поперечнаго сѣченія, но различной длины выносятъ свою тяжесть не одинаково и что можно себѣ представить такую балку, которая не вынесетъ собственной тяжести, а сломается подъ своимъ вѣсомъ. Потому-то для величины звѣрей существуетъ предѣлъ, за которымъ они ломались бы отъ своего собственнаго вѣса, и наиболѣе крупныя животныя находятся въ морѣ, въ которомъ тяжесть уменьшается вѣсомъ вытѣсняемой воды. Такимъ же образомъ, прибавляетъ Галилей, металлическая проволока, повѣшенная на одномъ концѣ, можетъ быть такой длинной и, значитъ, такой тяжелой, что разорвется сама по себѣ.

231. По мнѣнію Галилея эти явленія стояли въ связи съ однимъ наблюденіемъ, которое было сдѣлано во Флоренціи надъ дѣйствіемъ выкачивающихъ насосовъ. При помощи такихъ насосовъ хотѣли было поднять воду на значительную высоту, но помпы отказывались дѣйствовать. Приглашенный на совѣтъ Галилей изслѣдовалъ насосы и нашелъ, что они въ порядкѣ, но что они не подымаютъ воды вы-

http://mathesis.ru

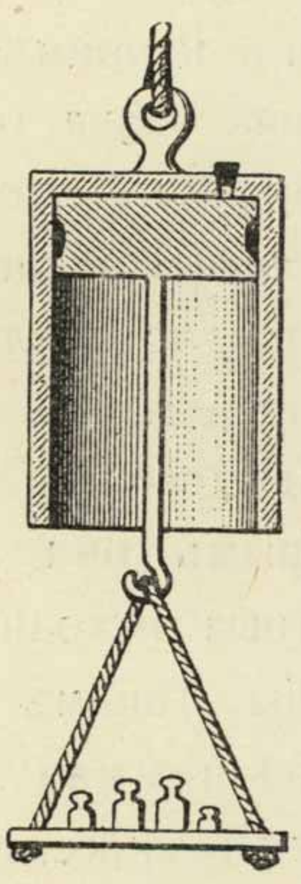
ше, чѣмъ на 18 итальянскихъ локтей (приблизительно 10 *м*). Аристотель и за нимъ Геронъ придерживались взгляда, что пустота невозможна, и Аристотель выразился, что природа боится пустоты. Во времена Галилея выраженіе „боязнь пустоты“ (*horror vacui*), какъ и многія другія Аристотелевскія выраженія, напоминающія о человѣческихъ ощущеніяхъ и мысляхъ, было во всеобщемъ употребленіи и физикамъ XVI и XVII вѣковъ стоило немалаго труда отдѣлаться отъ нихъ.

Геронъ выразился по этому вопросу нѣсколько объективнѣе — онъ просто говоритъ, что въ дѣйствительности пустое пространство не можетъ существовать, такъ какъ его будутъ заполнять частицы окружающихъ тѣлъ.

Галилей на мѣсто „боязни“ пустого пространства поставилъ болѣе удобное въ физикѣ выраженіе: „сопротивленіе“ пустотѣ. При этомъ онъ думаетъ о чемъ-то вродѣ сопротивленія упомянутой выше металлической проволоки своему разрыву. Это сопротивленіе можетъ быть преодолѣно и въ столбѣ воды, отдѣляющемся отъ поршня насоса, Галилей и видитъ аналогичное явленіе: столбъ воды становится такимъ тяжелымъ, что разрывается отъ своего собственнаго вѣса. Это, конечно, должно зависѣть только отъ длины, а не отъ ширины столба совершенно такъ же, какъ мѣдная проволока опредѣленной длины разрывается независимо отъ своей толщины.

Но слѣдовало бы ожидать, что оторвавшійся столбъ воды долженъ совершенно упасть. Во всякомъ случаѣ съ мѣдной проволокой дѣло происходитъ именно такъ. Но такъ какъ этого нѣтъ, то Галилей думалъ, что это „сопротивленіе пустотѣ“ имѣетъ опредѣленную величину, и такъ какъ висящій столбъ воды можетъ служить мѣрою величины этого сопротивленія, то онъ старался измѣрить его чисто механическимъ приспособленіемъ. Былъ взятъ цилиндръ, подвѣшенный дномъ вверхъ (рис. 239). Въ цилиндръ входилъ герметически пригнанный поршень, стержень котораго оканчивался крючкомъ. На этотъ крючокъ вѣшалась чашка съ разновѣсками. Галилей былъ уже очень старъ, когда началъ заниматься этимъ вопросомъ, и только Торричелли удалось впервые вполнѣ выяснить его.

Рис. 239



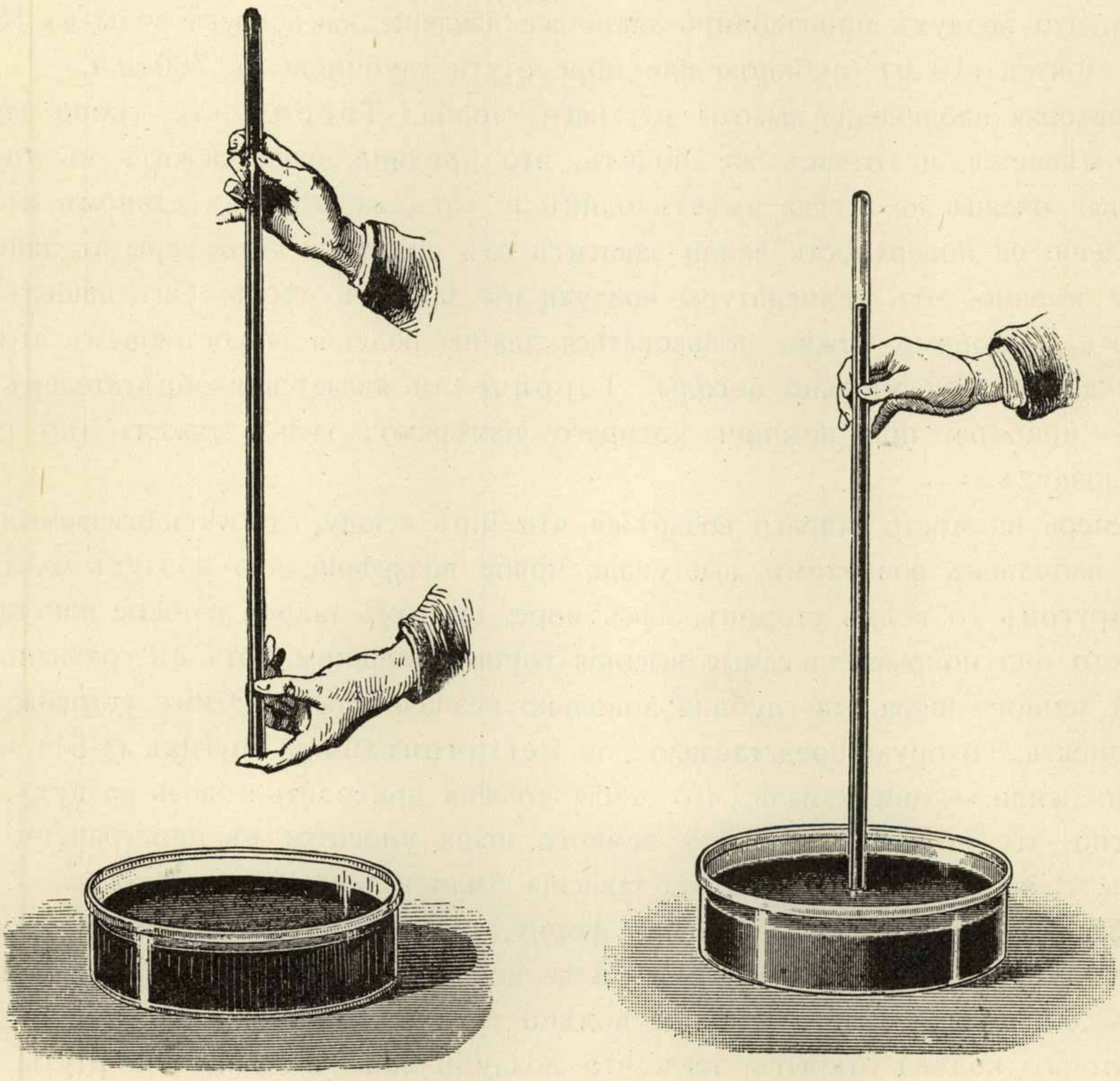
Галилеево измѣреніе сопротивленія пустотѣ.

232. Эванджелиста Торричелли родился въ 1608 г. въ Фаэнцѣ. Въ Римѣ онъ посвятилъ себя изученію математики. Его учителемъ былъ Бенедетто Кастелли, бенедектинецъ изъ Монтекассино, который помогалъ Галилею, въ дни его молодости, въ астрономическихъ наблюденіяхъ. Кастелли нашелъ, напримѣръ, что можно наблюдать изображеніе солнца и солнечныхъ пятенъ, отбросивъ изображеніе солнца, образуемое объективомъ зрительной трубы, на бѣлую поверхность (ср. § 102). Позднѣе Кастелли выдвинулся превосходными статьями о движеніи воды и при папѣ Урбанѣ VIII былъ сдѣланъ завѣдывающимъ большими водопроводными сооруженіями въ Римѣ. Въ 1641 г. на пути въ Венецію онъ посѣтилъ Галилея въ Арчетри близъ Флоренціи и между прочимъ разсказывалъ ему о молодомъ Торричелли, который занимался ученіемъ Галилея о движеніи и разрабатывалъ его дальше. Слѣдствіемъ этого было то, что Торричелли пріѣхалъ въ Арчетри, жилъ здѣсь съ Галилеемъ нѣсколько мѣсяцевъ до его смерти и въ это время записывалъ сообщенія Галилея о его различныхъ работахъ (§ 145).

http://mathesis.ru

233. По смерти Галилея Торричелли хотѣлъ вернуться въ Римъ, но великій герцогъ Тосканскій назначилъ его на то мѣсто, которое до него занималъ Галилей. Это побудило Торричелли взяться за дальнѣйшую разработку различныхъ вопросовъ, затронутыхъ Галилеемъ. Между прочимъ, онъ снова взялся за вопросъ о поднятіи воды въ пустой трубкѣ. Онъ понялъ, что для разъясненія этого вопроса было бы полезно замѣнить длинную непрозрачную трубу насоса стеклянной трубкой, а воду ртутью. Эту мысль онъ сообщилъ своему другу Вивіани, который произвелъ тогда слѣдующій опытъ. Онъ взялъ стеклянную трубку величиною приблизительно въ 1 *м*, на одномъ концѣ запаянную, наполнилъ ее доверху ртутью, закрылъ отверстіе пальцемъ, перевернулъ трубку и погрузилъ ея отверстіе въ сосудъ съ ртутью. Когда онъ затѣмъ отнялъ палецъ, ртуть упала, но лишь настолько, что въ

Рис. 240



Опытъ Торричелли.

трубкѣ остался столбъ ртути, высота котораго равнялась приблизительно $^1/_{14}$ высоты столба воды въ насосахъ. Но ртуть въ четырнадцать разъ тяжелѣе воды. Этимъ подтвердилось предположеніе Торричелли, что вѣсъ столба жидкости въ обоихъ случаяхъ долженъ быть одинъ и тотъ же. Такимъ образомъ, настоящее явленіе не было сходно съ разрывомъ металлической проволоки подъ вліяніемъ ея вѣса, такъ какъ въ послѣднемъ случаѣ долженъ играть роль не только вѣсъ, но и крѣпость металла. Но предположеніе Галилея, что природа противопоставляетъ образованію пустого про-

http://mathesis.ru

странства извѣстное сопротивленіе, не было опровергнуто опытомъ Торричелли. Это сопротивленіе было теперь только измѣрено новымъ способомъ, а, именно, вѣсомъ столба ртути.

234. Но теперь Торричелли напалъ на геніальную мысль, безконечно далекую отъ ученыхъ того времени, а именно, что причиной подъема воды или ртути является не внутреннее сопротивленіе образованію пустого пространства, а внѣшнее давленіе, которое дѣйствуетъ на воду въ колодцѣ и такимъ же образомъ на ртуть въ сосудѣ; это давленіе должно быть одинаково въ обоихъ случаяхъ, такъ какъ оно подымаетъ эти двѣ жидкости на высоту, обратно пропорціональную ихъ удѣльнымъ вѣсамъ (§ 205). Это давленіе, заключаетъ дальше Торричелли, можетъ быть, есть то, которое производитъ своимъ вѣсомъ воздухъ. А что воздухъ имѣетъ нѣкоторый вѣсъ, было доказано уже Галилеемъ. И такъ какъ количество воздуха очень значительно — Торричелли считалъ высоту атмосферы равной 50 милямъ — то вполнѣ мыслимо, что воздухъ производитъ такое же давленіе, какъ масса воды въ 18 итальянскихъ локтей (10 *м*) глубиною или море ртути глубиною въ 760 *мм*.

Повторяя наблюденія высоты ртутнаго столба, Торричелли скоро замѣтилъ, что она мѣняется, и тотчасъ же понялъ, что причина этого лежитъ въ томъ, что воздушный океанъ не всегда имѣетъ одинъ и тотъ же вѣсъ въ данномъ мѣстѣ, но что давленіе на поверхности земли зависитъ отъ состоянія атмосферы въ данный моментъ, а именно, отъ температуры воздуха въ данномъ мѣстѣ. Онъ нашелъ далѣе, что этимъ приборомъ можно пользоваться для наблюденія за состояніемъ атмосферы и для указаній относительно погоды. Торричелли является изобрѣтателемъ барометра — прибора, при помощи котораго измѣряютъ, какъ тяжелъ (по гречески βάρος) воздухъ.

Теперь на мѣсто стараго воззрѣнія, что міръ всюду, гдѣ нѣтъ осязаемыхъ предметовъ, наполненъ воздухомъ, выступало новое воззрѣніе, что воздухъ охватываетъ землю кругомъ со всѣхъ сторонъ, какъ море, притомъ такое глубокое или такое высокое, что оно покрываетъ самыя высокія горныя вершины, хотя въ сравненіи съ величиной земного шара эта глубина довольно незначительна. Этимъ устранялась также трудность, которую представляло для Регіомонтана и другихъ (§ 61) мнѣніе о движеніи земли, — они думали, что земля должна проходить сквозь воздухъ. Теперь было ясно, что воздушный океанъ земного шара уносится въ пространство вмѣстѣ съ нимъ. Вліяніе этого новаго представленія было весьма значительно.

235. Барометръ вскорѣ принялъ форму, изображенную на рис. 241, которую онъ, наряду съ нѣкоторыми другими болѣе новыми формами (см. Метеорологію), сохранилъ до нынѣшняго дня. Длинное колѣно трубки сверху запаяно. Сосудъ на концѣ короткаго колѣна открытъ, такъ что воздухъ можетъ давить на ртуть. Столбъ ртути въ закрытомъ колѣнѣ (отмѣряемый отъ уровня ртути въ открытомъ колѣнѣ) даетъ величину давленія воздуха. Кромѣ извѣстныхъ указаній относительно погоды: „ясно, перемѣнно, буря“ и т. д. на барометрѣ имѣется обыкновенно небольшая шкала, по которой можно отсчитывать высоту ртутнаго столба. На берегу моря средняя высота барометра составляетъ 28 парижскихъ дюймовъ или 760 *мм*.

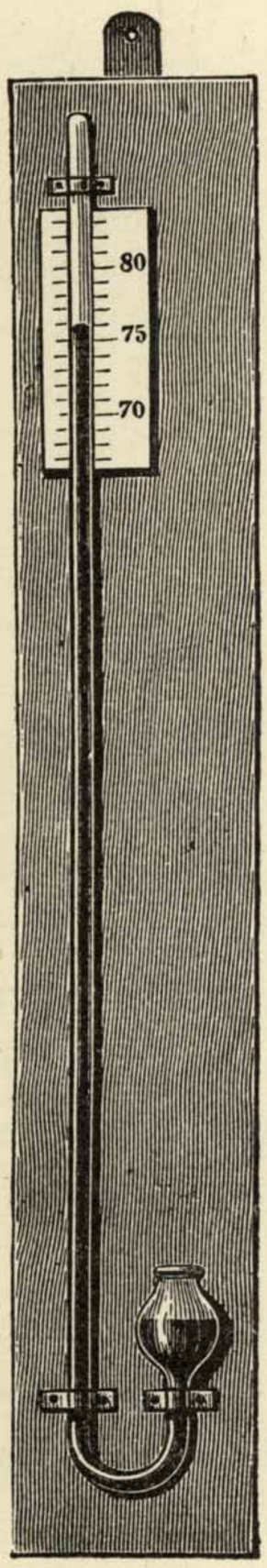
236. Торричелли показалъ себя достойнымъ ученикомъ Галилея еще и въ другомъ отношеніи. Онъ далъ цѣнныя изслѣдованія о зрительной трубѣ и микроскопѣ, рекомендовалъ въ качествѣ довольно хорошихъ микроскоповъ маленькіе сте-

http://mathesis.ru

клянные шарики, а также занимался разработкой и развитіемъ ученія о равновѣсіи и движеніи. Онъ нашелъ, напримѣръ, что если тѣла взаимно уравновѣшиваютъ другъ друга, то небольшое движеніе ихъ никогда не повышаетъ и не понижаетъ общаго центра тяжести (невозможность Perpetuum mobile, приводимаго въ движеніе грузами). Затѣмъ онъ нашелъ, что, если бросать тѣло съ извѣстной скоростью, но въ различныхъ направленіяхъ, то всѣ получающіеся параболическіе пути объемлются также параболой (рис. 242).

237. Далѣе, Торричелли изучалъ истеченіе воды изъ сосуда; это изученіе представляло въ то время особый интересъ въ виду его значенія для водяныхъ часовъ. Здѣсь, между прочимъ, онъ нашелъ слѣдующій важный законъ: когда жидкость вытекаетъ изъ отверстія въ сосудѣ, то ея скорость въ отверстіи имѣетъ какъ разъ ту величину, какую имѣла бы эта жидкость при паденіи съ высоты, равной разстоянію отверстія отъ поверхности жидкости, независимо отъ того, въ какомъ направленіи происходитъ истеченіе[1]). Это согласуется съ открытымъ впослѣдствіи закономъ, что энергія никогда не пропадаетъ (§ 182). Въ самомъ дѣлѣ, еслибы нужно было снова помѣстить въ сосудъ вытекшую воду, то ее надобно было бы поднять на высоту поверхности воды. Но это возможно для нея только при томъ условіи, что она подымается вверхъ съ тою же скоростью, какую она пріобрѣла бы, еслибы падала съ данной высоты. Потому же и струя фонтана, какъ справедливо замѣчаетъ Торричелли, не можетъ подняться выше уровня воды, питающей фонтанъ. Въ дѣйствительности, ввиду всегда существующихъ сопротивленій, струя никогда не достигаетъ этой высоты.

Рис. 241



Барометръ.

Торричелли нашелъ также, что вытекающая вода, совершенно такъ же, какъ другія брошенныя тѣла, движется по параболѣ, и пользовался путемъ, который описываетъ струя, для опредѣленія быстроты истеченія. Если разрѣшить струю фонтана въ массу отдѣльныхъ капель, то каждая изъ этихъ капель описываетъ параболу, причемъ болѣе крутая или болѣе плоская форма этой параболы будетъ соотвѣтствовать направленію, въ которомъ капля отдѣляется отъ струи. Совокупность этихъ путей различной формы, но связанныхъ опредѣленнымъ закономъ, производитъ пріятное впечатлѣніе на нашъ глазъ и проявляющаяся во всемъ этомъ явленіи закономѣрность, безъ сомнѣнія, представляетъ одну изъ главныхъ причинъ того, что фонтанъ вызываетъ въ насъ чувство восхищенія.

238. Торричелли умеръ во Флоренціи въ 1648 году, всего на тридцать девятомъ году жизни. Но онъ жилъ достаточно долго, чтобъ остаться въ памяти потомства на вѣчныя времена. И удивительно, что именно этотъ человѣкъ въ одной

---

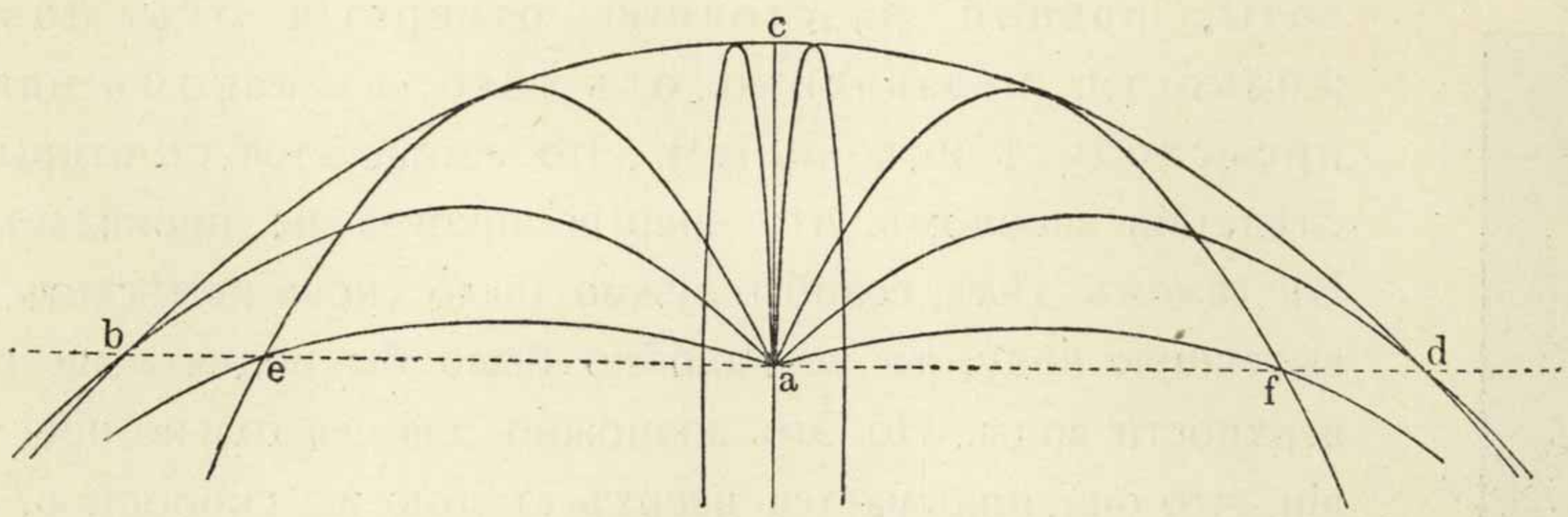
[1]) Если разстояніе отъ поверхности будетъ d, то скорость истеченія будетъ $v = \sqrt{2\,g\,d}$ (§ 149).

http://mathesis.ru

рѣчи, которую онъ произнесъ въ Римѣ въ Accademia della Crusca, утверждалъ, что посмертная слава не имѣетъ никакой цѣны. Для него всѣ люди послѣ смерти были одинаково знамениты.

239. Блэзъ Паскаль является другимъ высоко одареннымъ ученымъ, который также дожилъ только до 39 лѣтъ и благодаря которому Торричелліево открытіе воздушнаго океана получило такое превосходное дополненіе. Паскаль родился въ Клермонѣ въ 1623 году. Въ 1631 году его отецъ оставилъ свою должность въ податномъ управленіи и переѣхалъ въ Парижъ, повидимому, затѣмъ, чтобы всецѣло отдаться воспитанію единственнаго сына. Согласно плану, заботливо составленному отцомъ заранѣе, сынъ долженъ былъ сначала заняться изученіемъ языковъ. Но бесѣды о математическихъ и естественнонаучныхъ вопросахъ, которыя его отецъ часто велъ со сво-

Рис. 242



Объемлющая парабола бросанія.

ими друзьями, направили любознательность мальчика въ другую сторону. Когда онъ началъ задавать вопросы объ этихъ вещахъ, отецъ просилъ своихъ друзей не говорить съ его сыномъ о математикѣ; онъ даже спряталъ имѣвшіяся у него математическія книги, такъ какъ считалъ цѣлесообразнымъ начинать обученіе математикѣ только позднѣе. Когда отецъ не уступилъ просьбѣ своего сына учить его математикѣ, сынъ попросилъ по крайней мѣрѣ объяснить, что такое математика. „Это искусство правильно чертить фигуры и искать соотношенія между ними“, объяснилъ ему отецъ, „но ты не долженъ заниматься этимъ“. Однако, велико было удивленіе отца, когда онъ, войдя черезъ нѣсколько времени въ комнату 12-лѣтняго мальчика, нашелъ его погруженнымъ въ разсматриваніе математическихъ фигуръ и узналъ, что, за отсутствіемъ учебника, онъ старался создать собственную математику самъ. Онъ выдумалъ особыя названія для различныхъ геометрическихъ фигуръ и самостоятельно нашелъ различныя теоремы, какъ, напримѣръ, теорему о суммѣ угловъ треугольника.

Теперь отцу пришлось отказаться отъ своего сопротивленія. Началось обученіе и молодой Паскаль сталъ дѣлать такіе успѣхи, что на 16 году жизни написалъ работу о коническихъ сѣченіяхъ, возбудившую величайшее удивленіе друзей его отца. Декартъ, также бывшій въ ихъ числѣ, думалъ даже, что отецъ хотѣлъ подшутить надъ ними, выдавъ за работу сына свою собственную.

Блэзъ Паскаль быстро успѣвалъ и по другимъ предметамъ, причемъ и здѣсь онъ не только воспринималъ, но и создавалъ самъ. Очень остроумная вычислительная машина и другіе математическіе приборы были результатомъ неустанной духовной дѣятельности юноши. Но отъ этой необычайно ранней зрѣлости духа его здо-

http://mathesis.ru

ровье страдало въ высшей степени. Уже въ возрастѣ 18 лѣтъ его тѣло было совершенно разрушено.

240. Въ 1648 году Паскаль услышалъ отъ Мерсенна (§ 171), одного изъ друзей его отца, состоявшаго въ перепискѣ съ весьма многими физиками того времени, объ опытѣ Торричелли. Онъ повторилъ этотъ опытъ какъ со ртутью, такъ и съ виномъ (въ трубкѣ длиною въ 40 футовъ) и имѣлъ удовольствіе ознакомиться съ пустотой, о которой много спорили и о которой онъ написалъ въ 1647 году статью еще до того, какъ сталъ подозрѣвать о существованіи давленія воздуха, такъ какъ Мерсеннъ сообщилъ ему только о самомъ опытѣ, но не объ его объясненіи.

Рис. 243



Блэзъ Паскаль.

Въ томъ же году онъ узналъ и это объясненіе, которое нашелъ превосходнымъ и въ справедливости котораго онъ не сомнѣвался. Однако, Паскаль считалъ его недостаточно обоснованнымъ и потому самъ далъ два превосходныхъ доказательства его правильности. Одно доказательство, которое онъ называлъ доказательствомъ пустоты въ пустотѣ, онъ далъ при помощи очень простого прибора. Стеклянная трубка, имѣющая форму рис. 244 *A* съ отверстіями въ *a* и *b*, сначала наполняется въ наклонномъ положеніи ртутью доверху, причемъ отверстіе *a* закрывается пальцемъ. Затѣмъ затыкается пальцемъ также отверстіе *b*, трубка переворачивается и опускается концомъ *b* въ сосудъ съ ртутью *B*, послѣ чего, наконецъ, палецъ отнимается отъ отверстія *b* (но не отъ *a*). Часть ртути переходитъ въ сосудъ и въ трубкѣ *a b* остается столбъ ртути, имѣющій высоту барометра, а также извѣстное количество ртути въ изогнутой части трубки; въ длинномъ колѣнѣ ртуть стоитъ не выше, чѣмъ въ широкомъ, такъ какъ тамъ ничего нѣтъ, что давило бы на ртуть. Теперь палецъ удаляется отъ отверстія *a*, въ которое онъ сильно втягивается, и въ то же мгновеніе столбъ ртути *a b* падаетъ въ чашку совершенно, а ртуть въ изогнутой части подымается вверхъ до высоты барометра (рис. 244 *C*). Такимъ образомъ ясно, что повышеніе ртути въ верхней части трубки обусловлено не какимъ-нибудь внутреннимъ притяженіемъ, а наступаетъ только тогда, когда воздухъ можетъ давить на ртуть въ другомъ колѣнѣ.

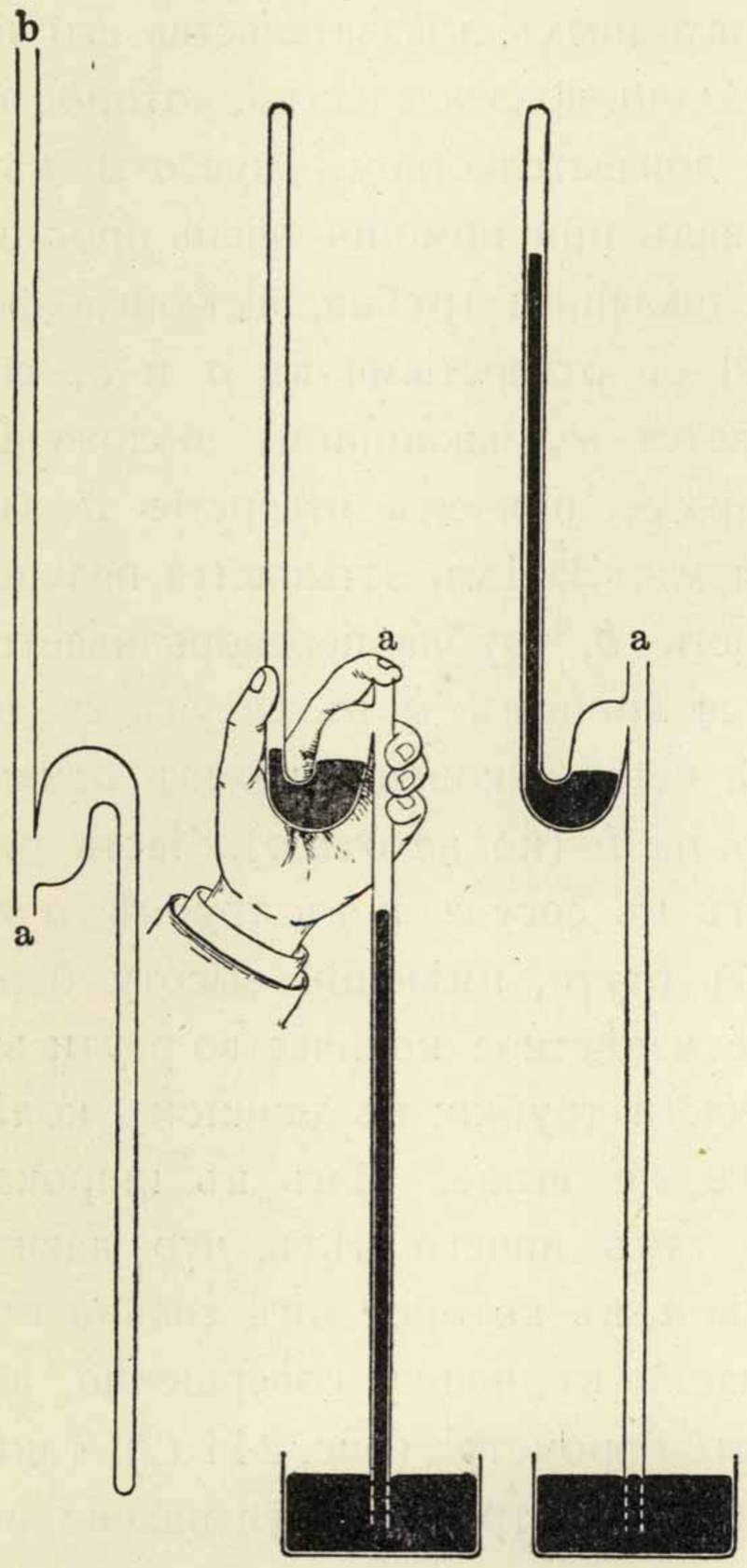
241. Другое доказательство, придуманное Паскалемъ, состояло въ изслѣдованіи, меньше ли давленіе воздуха у вершины горы, чѣмъ у ея подножія, или нѣтъ. Въ самомъ дѣлѣ, если ртуть въ барометрѣ подымается вверхъ вслѣдствіе тяжести воздуха, то на вершинѣ горы высота барометра должна быть меньше, такъ какъ тамъ надъ барометромъ лежитъ менѣе высокій слой воздуха, чѣмъ въ точкѣ, расположенной у подножія горы. Паскаль просилъ въ 1648 году своего зятя Перье въ

http://mathesis.ru

Клермонѣ разслѣдовать этотъ вопросъ на горѣ Пюи-де-Домъ (Puy de Dôme). Перье наблюдалъ барометръ у подножія горы, а самъ Паскаль поднялся на гору и наблюдалъ барометръ на ея вершинѣ. Оказалось, что высота барометра на вершинѣ была на 3″ 1·5‴ (три дюйма полторы линіи) ниже, чѣмъ у подножія горы. Этотъ опытъ сейчасъ же помогъ выясненію представленія о воздушномъ океанѣ. Чѣмъ ближе подыматься къ поверхности этого моря, тѣмъ меньше оказываемое имъ давленіе.

242. Послѣ открытія воздушнаго океана и давленія атмосферы теорія сифона, предложенная Герономъ (§ 211), должна была принять иную форму. Причиною того, что жидкость въ сифонѣ не раздѣляется и не стекаетъ по обоимъ колѣнамъ, лежитъ не въ невозможности пустоты, а въ давленіи воздуха. Потому-то сифонъ и перестаетъ дѣйствовать, когда онъ такъ высокъ (выше 32 футовъ), что вода не уравновѣшивается давленіемъ воздуха. Чтобы показать это, Паскаль построилъ приборъ,

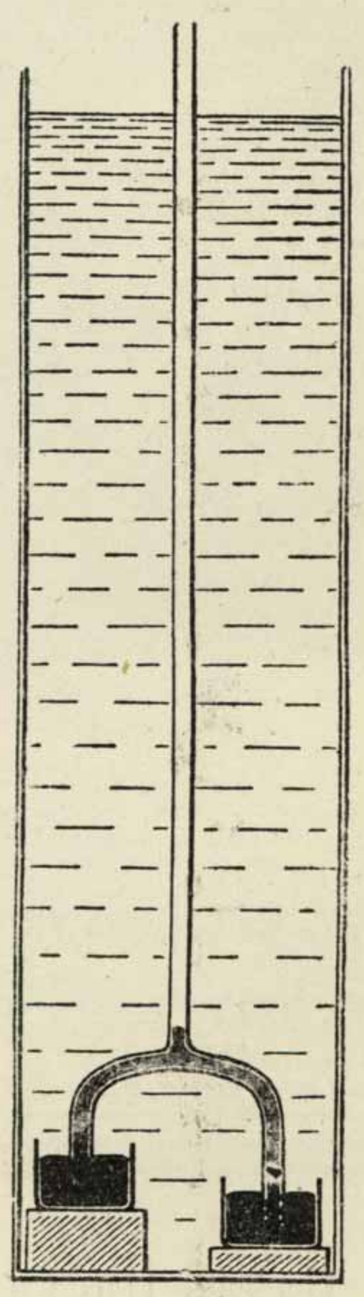
Рис. 244



A B C

Опытъ Паскаля съ давленіемъ воздуха.

Рис. 245



Приборъ Паскаля для объясненія сифона.

изображенный на рис. 245. На днѣ высокаго сосуда, наполненнаго водой, стоятъ двѣ чашки съ ртутью. Ртуть одной чашки сообщается съ ртутью другой посредствомъ изогнутой трубки. Отъ верхней части этой соединительной трубки идетъ сквозь воду до верхней поверхности прямая трубка. Своимъ давленіемъ вода вгоняетъ ртуть по вилообразной трубкѣ вверхъ. Если теперь приподнять слегка одинъ изъ сосудовъ съ ртутью, то ртуть переходитъ изъ перваго сосуда во второй, но только въ томъ случаѣ, если давленіе воды на ртуть такъ велико, что соединительная трубка заполняется ртутью совершенно. Если же удалить такое

http://mathesis.ru

количество воды, чтобы ртуть въ двухъ колѣнахъ трубки оставалась разъединенной, то ртутный сифонъ перестаетъ дѣйствовать.

Въ согласіи съ этимъ Паскаль нашелъ, что водяной сифонъ вышиной въ 40 футовъ не дѣйствуетъ, но если держать его наклонно, такъ чтобы его высота по отвѣсу была меньше 32 футовъ, то онъ начинаетъ дѣйствовать. Равнымъ образомъ, ртутный сифонъ длиною въ одинъ метръ начинаетъ дѣйствовать только тогда, когда онъ приводится въ достаточно наклонное положеніе.

243. Паскаль изучалъ давленіе жидкостей и, не зная работъ Стевина (§ 187), самостоятельно построилъ такъ называемый сосудъ Паскаля. Ему также въ бо̀льшей степени, нежели Торричелли, принадлежитъ заслуга доказательства, что законы давленія жидкостей въ существенномъ вѣрны и для воздуха. Онъ дѣлалъ разсчеты вродѣ слѣдующаго.

Окружающій землю воздушный океанъ долженъ имѣть такой же вѣсъ, какъ океанъ воды глубиною въ 32 фута и океанъ ртути глубиною въ 0·76 *м*. Если извѣстна величина земной поверхности, то можно вычислить вѣсъ всего воздушнаго океана. Если принять радіусъ земли равнымъ 860 милямъ, то поверхность земли должна составлять около 9 милліоновъ квадратныхъ миль. Вѣсъ воздушнаго океана равенъ вѣсу $^{32}/_{24000} \times 9\,000\,000$ или около 12 000 куб. миль воды.

На каждый квадратный дюймъ дѣйствуетъ давленіе, равное вѣсу столба воды высотою въ 32 фута, съ поперечнымъ сѣченіемъ въ 1 квадр. дюймъ. Этотъ столбъ воды имѣетъ въ объемѣ $^{32}/_{144} = {}^{2}/_{9}$ куб. фута и, значитъ, вѣситъ 14 фунтовъ, такъ какъ одинъ кубическій футъ воды вѣситъ 63 фунта[1]). Это давленіе дѣйствуетъ не только по направленію сверху внизъ, но, по законамъ давленія въ жидкостяхъ, также и въ стороны и снизу. Такимъ образомъ, на поверхность человѣческаго тѣла — а ее можно принять равной 12 квадратнымъ футамъ — дѣйствуетъ давленіе въ $12 \times 144 \times 14 = 24\,192$ фунта. Паскаль, однако, обращаетъ вниманіе на то, что существуетъ соотвѣтственное давленіе изнутри наружу и притомъ не только въ легкихъ и въ другихъ полостяхъ тѣла, въ которыя проникаетъ воздушный океанъ. Въ тканяхъ тѣла воздухъ также находится подъ соотвѣтственнымъ давленіемъ. Это давленіе производитъ то, что, если высосать изъ наперстка воздухъ, то кожа втягивается въ него, что кровь вытекаетъ въ кровососныя банки при кровопусканіи и т. д. Отъ внезапнаго уменьшенія внѣшняго давленія кровь выступаетъ изъ тончайшихъ сосудовъ въ глазахъ, въ носу и т. д. Напротивъ, медленное измѣненіе давленія переносится легко, такъ какъ внутреннее давленіе постепенно подгоняется къ внѣшнему. Въ виду этого возможно, что человѣкъ можетъ выжить даже при давленіи въ одну четверть атмосферы, а медленное повышеніе давленія до нѣсколькихъ атмосферъ онъ можетъ выносить хорошо.

244. Во времена Паскаля въ Цистерсіанскомъ монастырѣ Поръ-Рояль (Port-Royal) близъ Фонтенбло, которому принадлежала также недвижимость въ Парижѣ, поселились приверженцы голландскаго богослова Янсена. Эти такъ называемые янсенисты присоединились къ ученію Августина о безконечности милосердія Божія и стремились жить, согласно первоначальнымъ положеніямъ церкви, въ работѣ, воздержаніи и любви къ ближнему. Это привело ихъ къ рѣзкому столкновенію съ іезуита-

---

[1]) Давленіе воздуха на квадратный сантиметръ составляетъ приблизительно одинъ килограммъ.

http://mathesis.ru

ми. Паскаль все болѣе и болѣе чувствовалъ влеченіе къ янсенистамъ. Въ возрастѣ 27 лѣтъ онъ совершенно оставилъ свою научную дѣятельность, такъ какъ пришелъ къ убѣжденію, что хорошо употреблено только то время, которое идетъ на молитву, на религіозныя размышленія и на проявленія христіанской любви къ ближнимъ. Временами, однако, его настоящая натура прорывалась. Такъ, однажды плодомъ безсонной ночи была работа о циклоидѣ, которая возбудила удивленіе всѣхъ математиковъ того времени. Днемъ и ночью Паскаль читалъ библію, которую выучилъ почти наизусть. Кромѣ того, онъ началъ усиленно заниматься литературной дѣятельностью въ религіозномъ направленіи. Въ рядѣ появившихся безъ подписи писемъ, такъ называемыхъ Писемъ Провинціала, которыя постепенно перешли въ самыя рѣзкія нападки на іезуитовъ, онъ защищалъ янсенистовъ противъ іезуитовъ. Эти письма выдержали болѣе 60 изданій и имѣли огромное значеніе для развитія французскаго литературнаго языка. — Паскаль умеръ въ 1662 году.

245. Въ то время какъ Паскаль во Франціи обратилъ свое вниманіе на воздушный океанъ и на его дѣйствія вообще, другіе — можно сказать, по какому-то мистическому любопытству — обращали свои взгляды больше на само пустое пространство или на Торричелліеву пустоту, какъ стали называть это пространство. Это чудесное пространство, которое ничего не содержитъ, въ существованіи котораго всегда сомнѣвались и которое даже отрицали, всетаки существовало и какими чудесными свойствами, слѣдовало думать, оно должно обладать! Любознательность, возбужденная открытіемъ Торричелли, распространялась все шире и, наконецъ, захватила въ круги, гдѣ даже уже не знали, чѣмъ она собственно была вызвана. Такимъ образомъ и могло выйти, что вопросъ стали разсматривать съ совсѣмъ новой стороны и что получились совершенно новые результаты.

Рис. 246



Отто фонъ-Герике.

Между людьми, которыхъ навелъ на экспериментированіе интересъ, возбужденный вопросомъ о пустомъ пространствѣ въ срединѣ XVII вѣка, нужно особенно отмѣтить Отто фонъ-Герике. Это былъ больше искусный экспериментаторъ, чѣмъ ученый физикъ. Сынъ сельскаго старосты Іоганна Герике, онъ родился въ 1602 году въ Магдебургѣ. Въ Лейпцигѣ, Гольмштедтѣ и Іенѣ онъ изучалъ сначала правовѣдѣніе. Затѣмъ онъ отправился въ Лейденъ, чтобы тамъ отдаться изученію математики и механики. Это было въ 1623 году, значитъ, едва лишь три года послѣ смерти Стевина, и Герике, безъ сомнѣнія, слушалъ здѣсь молодого высоко одареннаго Снелля, который въ то время былъ въ Лейденѣ профессоромъ математики (§ 106). Объѣздивъ Францію и Англію, Герике вернулся въ родной городъ, гдѣ въ 1627 г. сталъ ратманомъ. Послѣ разрушенія Магдебурга онъ перешелъ на шведскую службу

http://mathesis.ru

и былъ сдѣланъ старшимъ инженеромъ въ цитадели Эрфурта. Въ 1646 году онъ сталъ бургомистромъ Магдебурга. Эту должность Герике занималъ много лѣтъ. Въ возрастѣ 79 лѣтъ онъ ушелъ на покой и послѣдніе пять лѣтъ жизни прожилъ у своего сына въ Гамбургѣ, гдѣ и умеръ въ 1686 году.

Когда Герике началъ заниматься опытами съ безвоздушнымъ пространствомъ, онъ, повидимому, не имѣлъ почти никакихъ свѣдѣній объ опытахъ Торричелли и Паскаля, которые собственно и возбудили интересъ къ этому дѣлу.

246. Герике хотѣлъ получить пустое пространство просто выкачиваніемъ воды изъ бочки, въ которую не могъ входить воздухъ. Онъ наполнилъ бочку водою, повернулъ ее затычкой внизъ (рис. 247) и наглухо привинтилъ къ ней трубку насоса изъ мѣди, который служилъ пожарной трубой. Этотъ насосъ былъ снабженъ кра-

Рис. 247



Выкачиваніе бочки (Герике).

номъ *a*, черезъ который вода могла входить изъ бочки въ насосъ. Попавшая въ насосъ вода могла затѣмъ удаляться изъ трубки черезъ кранъ *b*. Вытягивать поршень оказалось „для трехъ крѣпкихъ людей“ тяжелѣе, чѣмъ ожидалъ Герике, и въ первый разъ аппаратъ лопнулъ. Во второй разъ приборъ выдержалъ испытаніе, но въ бочкѣ было слышно сильное кипѣніе и Герике тотчасъ понялъ, что въ бочку сквозь дерево входилъ воздухъ. Тогда Герике помѣстилъ эту бочку въ другую, бо̀льшихъ размѣровъ, наполненную водой. Теперь воздухъ во всякомъ случаѣ не могъ входить въ бочку, изъ которой онъ выкачивался, такъ какъ она была окружена со всѣхъ сторонъ водою, а вода, думалъ Герике, проходитъ сквозь дерево не такъ свободно, какъ воздухъ.

Но теперь вообще ничего не вышло. Трое крѣпкихъ людей не могли двинуть поршня. Герике подумалъ, что, можетъ быть, воздухъ легче выкачивать, чѣмъ воду,

http://mathesis.ru

и потому соорудилъ большой мѣдный шаръ съ краномъ. Этотъ шаръ не наполнялся водою, а непосредственно былъ прикрѣпленъ къ насосу (рис. 248). Сначала выкачиваніе шло легко, а затѣмъ оно становилось все тяжелѣе и наконецъ двое дюжихъ людей (*viri quadrati*) едва могли двигать поршень, а какъ только они кончили, шаръ съ сильнымъ шумомъ сразу сплющился.

Тогда Герике заказалъ болѣе крѣпкій шаръ. Съ этимъ шаромъ опытъ удался, хотя онъ стоилъ большой работы, и когда Герике открылъ кранъ, онъ имѣлъ удовольствіе слышать, какъ свистѣлъ воздухъ, входя въ шаръ.

Рис. 248



Выкачиваніе мѣднаго шара (Герике).

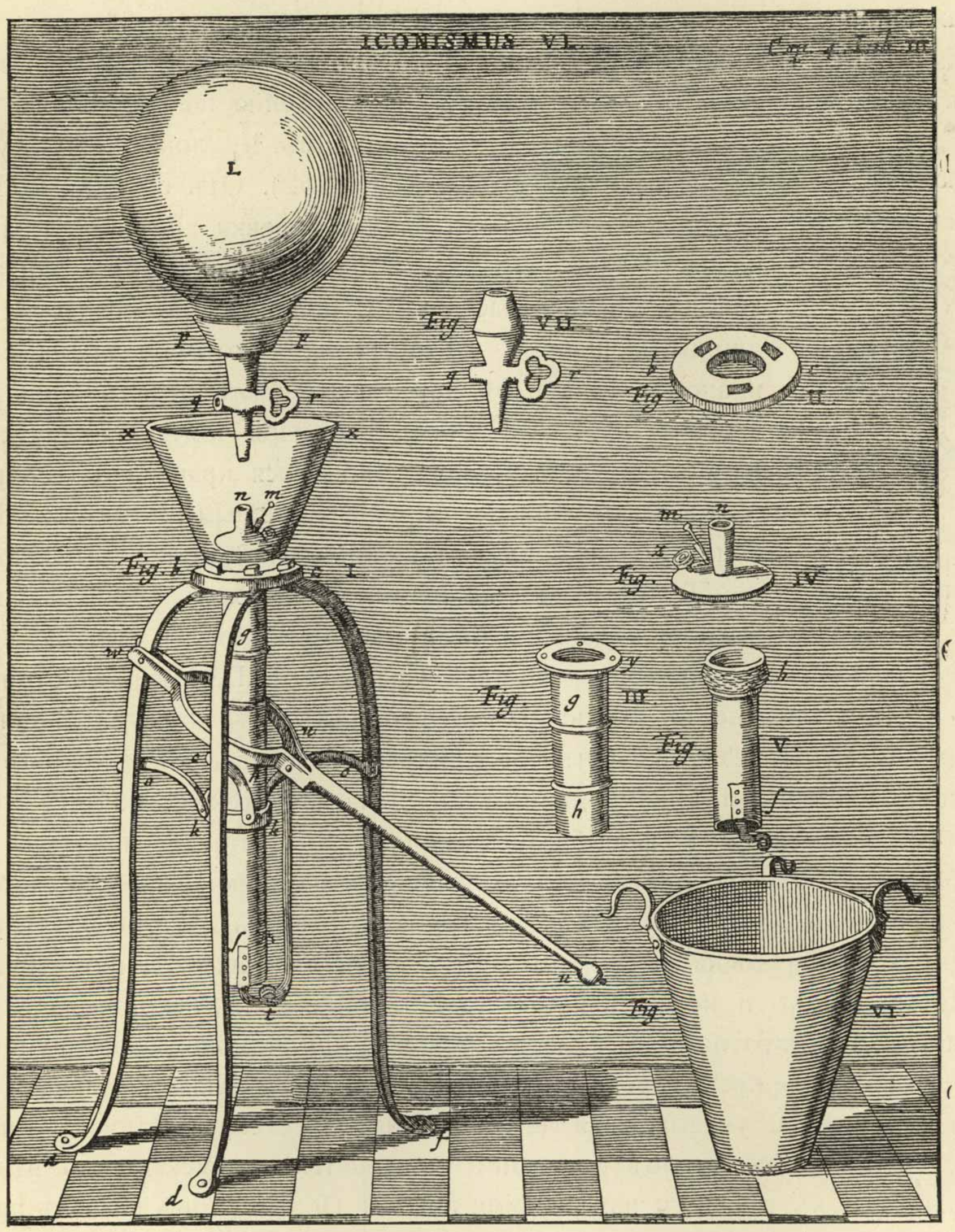
247. Послѣ этихъ предварительныхъ опытовъ Герике соорудилъ особый воздушный насосъ, рис. 249. Въ срединѣ треногаго штатива помѣщался въ отвѣсномъ положеніи цилиндръ. Стержень поршня *f*, входившій въ цилиндръ снизу, приводился въ движеніе при помощи рычага *n*. Кромѣ того, насосъ былъ снабженъ, какъ и прежніе приборы, клапаномъ и краномъ; а то пространство, изъ котораго выкачивался воздухъ, былъ большой стеклянный шаръ *L*, къ которому герметически пригонялась часть насоса съ краномъ *q r*. Эта часть своимъ нижнимъ концомъ приходилась въ верхній конецъ цилиндра. Такъ какъ эти соединенія легче сдѣлать непроницаемыми для воды, чѣмъ для воздуха, то они были окружены сосудомъ *x x*, наполненнымъ водой.

248. Если мы теперь пересмотримъ тѣ многочисленные опыты, которые произвелъ Герике съ этой машиной, то замѣтимъ, что Герике выказывалъ особое предпочтеніе опытамъ, возбуждающимъ изумленіе. Съ другой стороны надо, однако, сказать, что онъ стремился расширить человѣческое знаніе и что онъ нашелъ въ этой области довольно важныя вещи.

http://mathesis.ru

Къ явленіямъ взрыва въ собственномъ смыслѣ слова можно отнести выкачиваніе тонкостѣнныхъ стеклянныхъ сосудовъ. Давленіе внѣшняго воздуха съ шумомъ разбиваетъ ихъ такъ же, какъ сплющиваетъ упомянутый выше мѣдный шаръ. Въ настоящее время подобный опытъ часто выполняется такъ, какъ онъ изображенъ на рис. 250: цилиндръ обвязывается пузыремъ и послѣдній при выкачиваніи воздуха разрывается.

Рис. 249



Воздушный насосъ О. ф. Герике.

Сюда относится также торжественный опытъ, который былъ произведенъ Герике въ 1654 г. на Регенсбургскомъ рейхстагѣ передъ императоромъ Фердинандомъ III и чинами рейхстага.

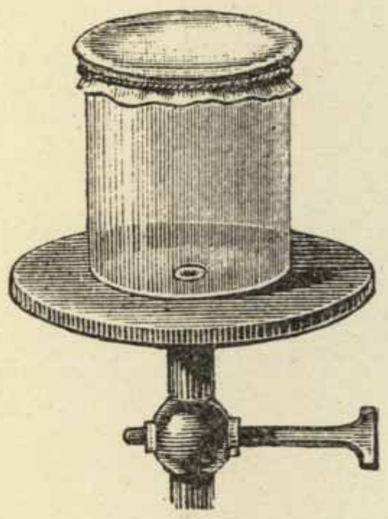
Два полыхъ полушара, діаметромъ въ $^2/_3$ локтя, были такъ аккуратно пришлифованы по краямъ, что при небольшой смазкѣ саломъ и при нажатіи другъ къ другу они закрывались совершенно герметически. Воздухъ выкачивался изъ нихъ

http://mathesis.ru

сквозь отверстіе, снабженное краномъ, а затѣмъ къ каждому полушарію было припряжено по 8-ми лошадей (рис. 251). Только съ величайшимъ трудомъ лошади могли разнять полушарія, а когда это случилось, то послышался сильный шумъ. — Поперечное сѣченіе шара было приблизительно равно 200 квадратнымъ дюймамъ, и если воздухъ былъ выкачанъ хорошо, то полушарія прижимались другъ къ другу давленіемъ въ 200×14 или 2800 фунтовъ на каждое полушаріе. Подобный приборъ меньшихъ размѣровъ можно найти въ настоящее время въ собраніи физическихъ приборовъ каждой школы подъ названіемъ „Магдебургскихъ полушарій“.

Тогда же Герике произвелъ опытъ, въ которомъ пятьдесятъ здоровыхъ людей не были въ состояніи сопротивляться маленькому движенію пальца одного человѣка. Мѣдный цилиндръ діаметромъ въ $^3/_4$ локтя былъ укрѣпленъ на деревянномъ столбѣ (рис. 252). Отъ стержня поршня шла, перекидываясь черезъ блокъ, веревка, на концѣ раздѣленная на части такъ, что за нее одновременно могли тянуть 50 человѣкъ. Нижняя часть этого цилиндра сообщалась съ безвоздушнымъ шаромъ, который на нѣкоторое время закрывался краномъ. Теперь 50 человѣкамъ былъ отданъ приказъ тянуть веревку изо всей силы, благодаря чему поршень подымался немного вверхъ. Затѣмъ открывался кранъ и цилиндръ приводился въ сообщеніе съ безвоздушнымъ шаромъ. Небольшое количество воздуха изъ цилиндра переходило въ шаръ и прежніе 50 человѣкъ уже не могли удержать поршень на прежней высотѣ, а должны были нѣсколько отдать его.

Рис. 250



Разрывъ пузыря атмосфернымъ давленіемъ.

249. Только на упомянутомъ рейхстагѣ узналъ О. ф. Герике объ открытіи Торричелли и Паскаля; но въ это время онъ уже самъ сдѣлалъ эти открытія и притомъ инымъ путемъ (рис. 253). Онъ соединилъ герметически нѣсколько трубъ, такъ что онѣ составили вмѣстѣ трубку длиною въ 19 магдебургскихъ локтей. Въ мѣстахъ соединенія были сдѣланы кольцеобразные жолоба, въ которые наливалась вода для того, чтобы сдѣлать соединеніе возможно лучше. На верхнемъ закрытомъ концѣ былъ придѣланъ на боковой трубкѣ кранъ. Эта трубка соединялась съ безвоздушнымъ шаромъ и при открытіи крана воздухъ отчасти высасывался изъ длинной трубки. Вода подымалась въ трубкѣ и, когда она достигала такой высоты, какой только могла достигнуть послѣ многократнаго высасыванія воздуха при помощи безвоздушнаго шара, кранъ закрывался. На кускѣ пробки, плававшемъ на водѣ, была укрѣплена маленькая человѣческая фигурка, указывавшая на нанесенныя на стеклѣ мѣтки. Герике замѣтилъ, что этотъ водяной столбъ постоянно подымается и опускается и что эти колебанія находятся въ связи съ измѣненіями погоды. Поэтому онъ назвалъ плавающую на водѣ фигурку „человѣчкомъ погоды“.

250. Герике понялъ также, что это явленіе вызвано вѣсомъ воздуха. Онъ взвѣшивалъ полый шаръ безъ воздуха, съ воздухомъ и водой, но не постарался получить опредѣленный числовой результатъ для вѣса воздуха, такъ какъ воздухъ — говоритъ онъ — не всегда вѣситъ одинаково. Онъ довольствовался изготовленіемъ прибора, который показанъ на переднемъ планѣ рис. 253 и который обнаруживаетъ перемѣны вѣса воздуха. Большой полый шаръ безъ воздуха на одномъ концѣ коромысла уравновѣшивается грузомъ меньшаго объема на другомъ концѣ. Еслибы

http://mathesis.ru

массы металла въ обоихъ шарахъ имѣли совершенно одинаковый вѣсъ, то шары, конечно, не были бы въ равновѣсіи,—большій шаръ вытѣснялъ бы больше воздуха и потому воздухъ сильнѣе подымалъ бы его. Оказалось, однако, что эта сила подъема

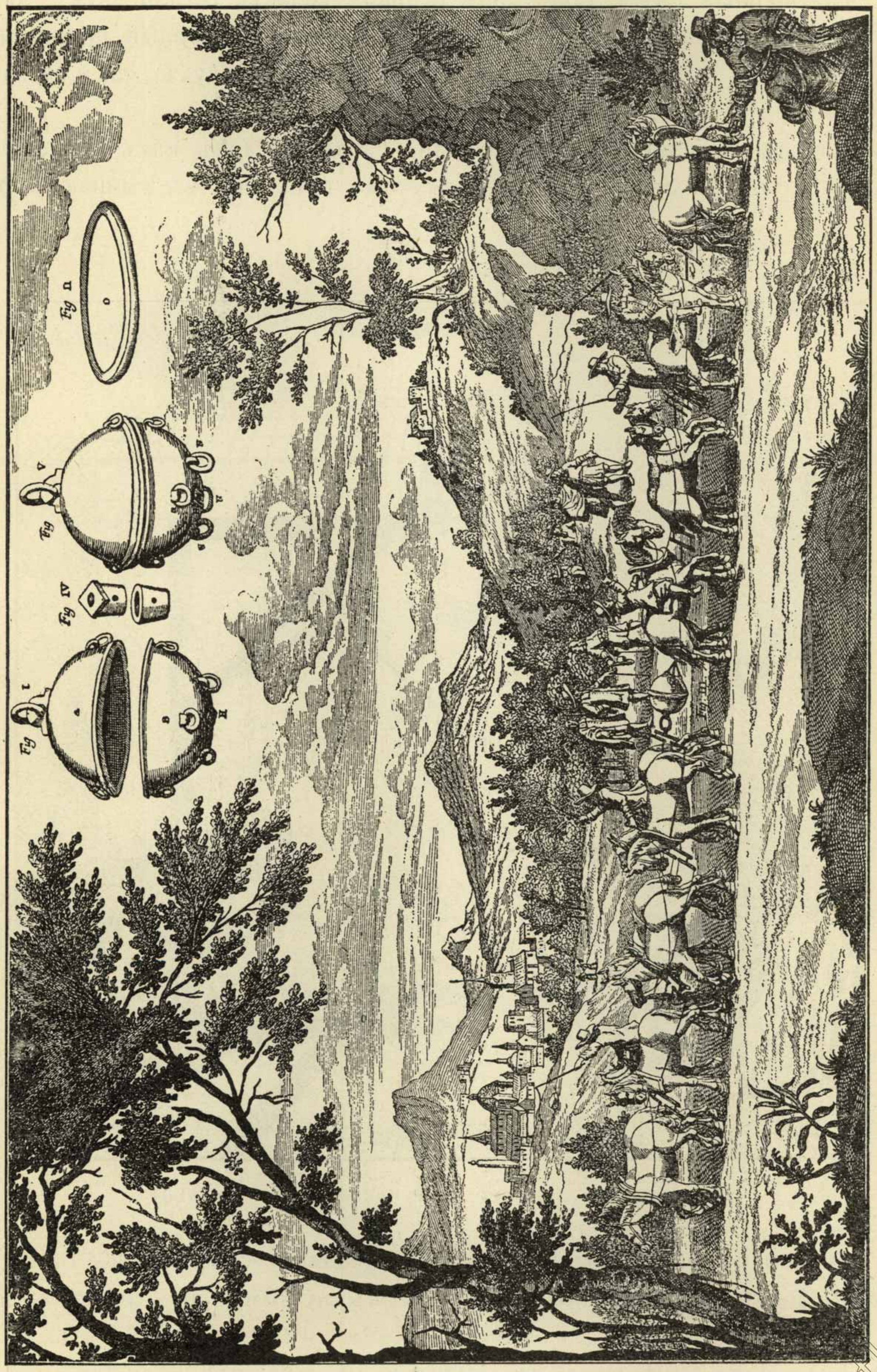


Рис. 251. Магдебургскія полушарія на Регенсбургскомъ рейхстагѣ 1654 г.

въ разное время различна, что, слѣдовательно, вытѣсненный воздухъ имѣетъ не всегда одинаковый вѣсъ. Такъ какъ этотъ приборъ долженъ показывать только пере-

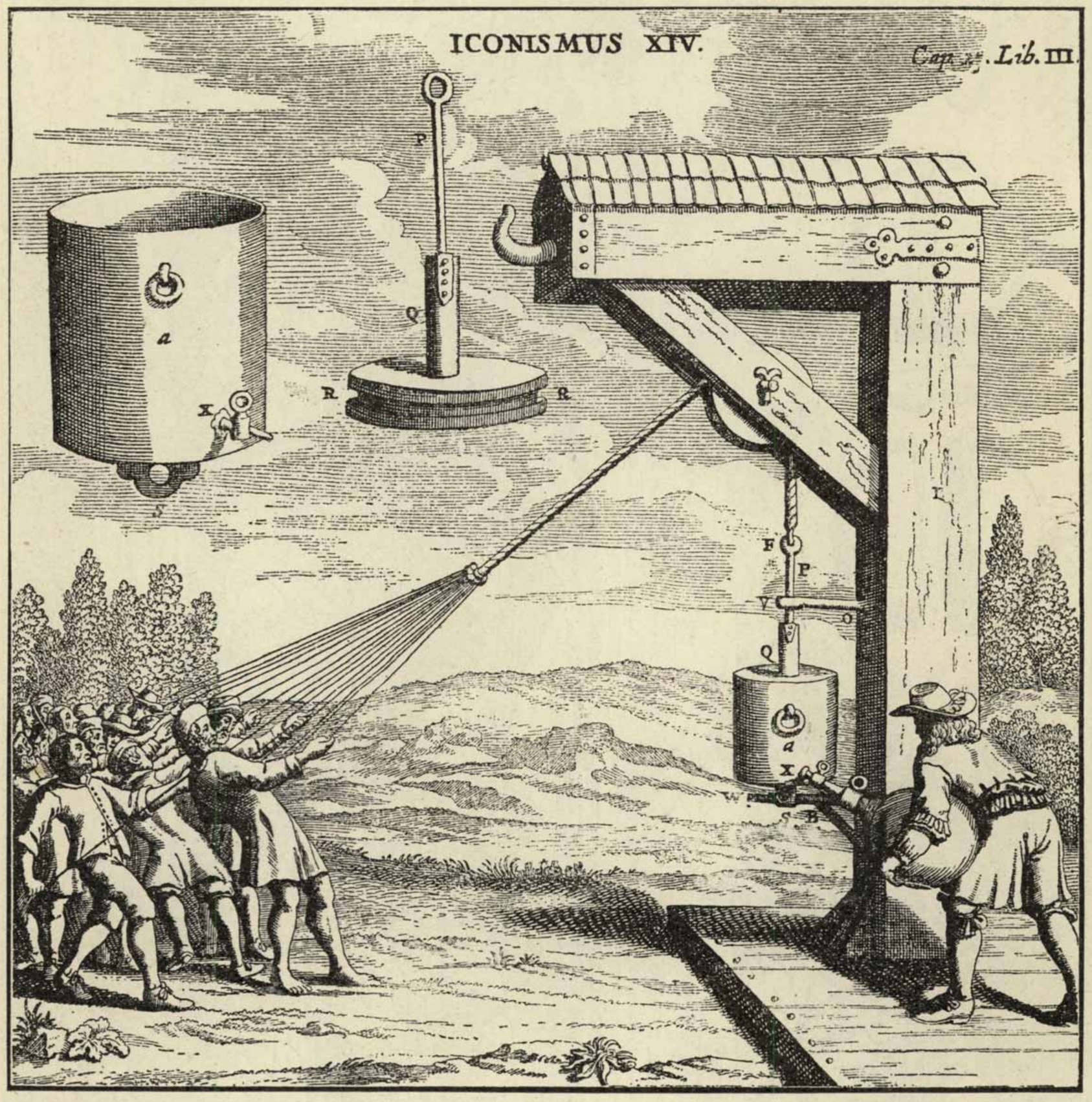
http://mathesis.ru

мѣнность силы, подымающей шаръ вверхъ, то, конечно, нѣтъ необходимости, чтобы большій шаръ былъ безвоздушнымъ.

251. Герике наблюдалъ также явленія, происходящія съ различными предметами въ безвоздушномъ пространствѣ. Открывъ сразу кранъ подъ водою, Герике замѣтилъ, что водяная струя при ударѣ о шаръ издаетъ рѣзкій звукъ, какъ будто она представляетъ твердое тѣло. Когда вода ударяетъ о твердый предметъ въ воздухѣ, то получается только глухой звукъ, такъ какъ воздухъ, такъ сказать, образуетъ подушку.

Горящая свѣча гаснетъ при выкачиваніи воздуха, такъ какъ, по словамъ Герике, воздухъ питаетъ огонь. Птицы въ пустомъ пространствѣ умираютъ, рыбы раз-

Рис. 252



Атмосферное давленіе пересиливаетъ 50 человѣкъ.

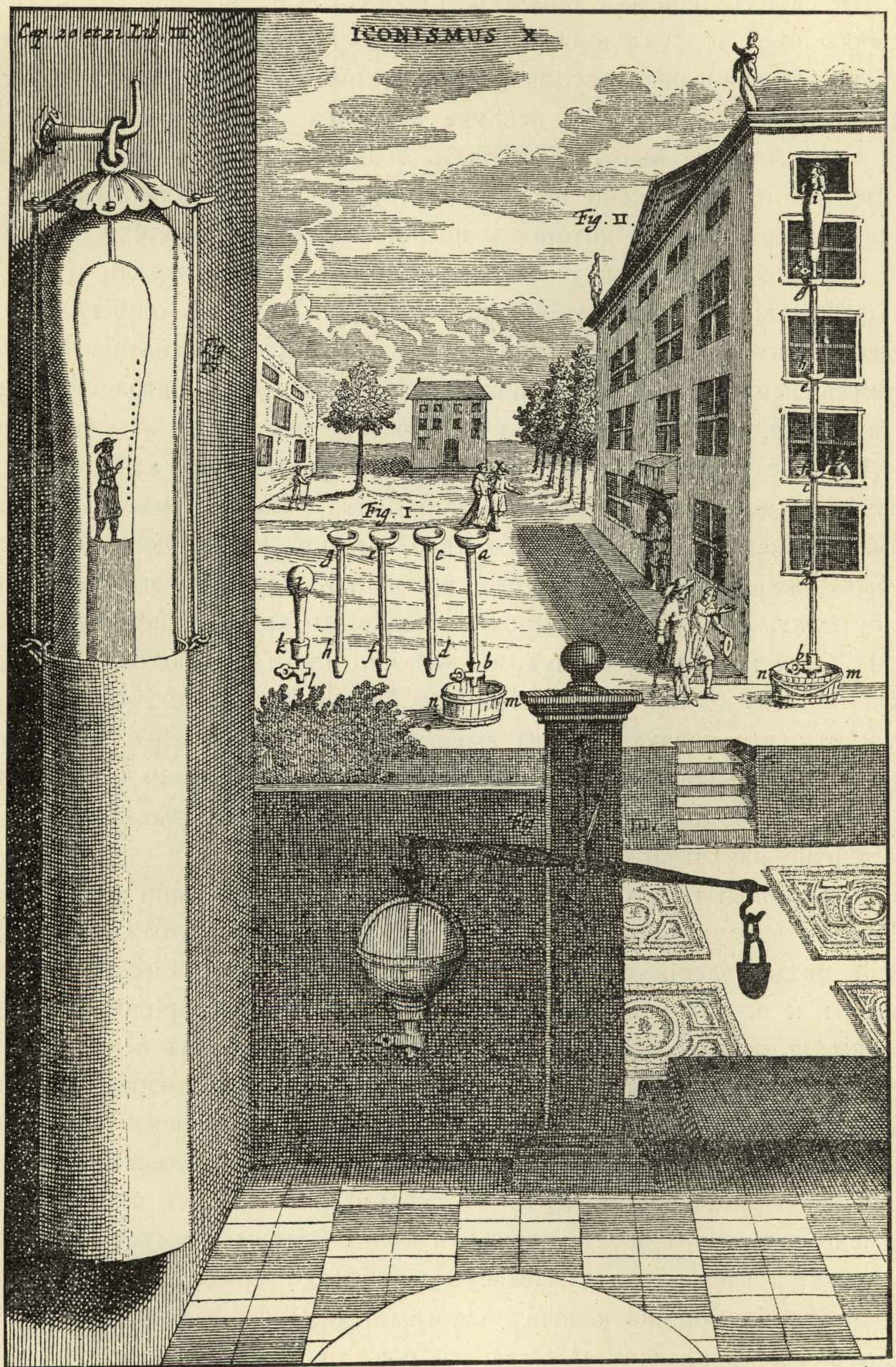
дуваются и наконецъ лопаются. Виноградъ сохранялся свѣжимъ въ безвоздушномъ пространствѣ болѣе полугода. Колокольчикъ въ пустомъ пространствѣ не давалъ звука.

252. Если вода помѣщалась въ закрытое пространство и затѣмъ изъ него выкачивался воздухъ, то въ водѣ начинали подыматься пузырьки воздуха. Герике, не считавшій воздуха чѣмъ-либо самостоятельнымъ, а смотрѣвшій на него, какъ на испаренія предметовъ, объяснялъ это явленіе выдѣленіемъ испареній изъ воды.

http://mathesis.ru

Правильное объясненіе этого явленія было дано только французскимъ физикомъ Нолле (1700 — 1770). Находясь въ соприкосновеніи съ воздухомъ, вода вбираетъ въ себя нѣкоторое количество его. И потому, если нагрѣвать воду или умень-

Рис. 253



Предсказатель погоды Герике и приборъ для обнаруженія вѣса воздуха.

шать давленіе на ея поверхность, воздухъ выходитъ изъ воды. Вода поглощаетъ различные газы въ разномъ количествѣ. — Другія жидкости и даже твердыя тѣла также

http://mathesis.ru

обладаютъ способностью поглощать газы. Это явленіе, такъ называемая диффузія или эндосмосъ, играетъ въ природѣ очень важную роль. Растворенный во всякой водѣ воздухъ поддерживаетъ дыханіе рыбъ. Между твердыми тѣлами особенной большой способностью поглощать газы обладаетъ пористый уголь (деревянный уголь, костяной уголь). На этомъ основано его дѣйствіе въ искусственныхъ фильтрахъ.

253. Въ своихъ первыхъ опытахъ Герике исходилъ изъ предположенія, что въ силу своего вѣса воздухъ долженъ собираться на днѣ сосудовъ. Поэтому онъ всегда производилъ выкачиваніе сосудовъ, изъ которыхъ удалялся воздухъ, у самаго дна. Онъ думалъ, что, когда половина воздуха выкачана, то другая половина находится въ нижней части сосуда, верхняя же часть его свободна отъ воздуха. Однако, онъ увидѣлъ, что это предположеніе не соотвѣтствуетъ фактамъ; однажды онъ соединилъ горлышками два сосуда, изъ которыхъ нижній содержалъ воздухъ, а верхній нѣтъ. Когда онъ открылъ кранъ между этими сосудами и затѣмъ отдѣлилъ ихъ другъ отъ друга, то замѣтилъ, что воздухъ входилъ въ оба сосуда съ одинаковой силой. Такимъ образомъ онъ нашелъ, что воздухъ не занимаетъ опредѣленнаго пространства, какъ, напримѣръ, вода, но что онъ можетъ занимать любое пространство, какъ бы велико оно ни было. Что воздухъ можно сжимать, было извѣстно уже давно.

254. Герике открылъ также, что давленіе воздуха, такъ какъ его производитъ вѣсъ воздуха, на высокихъ мѣстахъ должно быть меньше, чѣмъ въ болѣе низкихъ, что уже было доказано Паскалемъ. Слѣдовательно, на высокихъ мѣстахъ воздухъ долженъ быть сжатъ меньше. Для того чтобы убѣдиться въ этомъ, Герике взялъ большую бутылку, снабженную краномъ, и закрылъ кранъ у подножія башни, такъ, что бутылка была наполнена воздухомъ той плотности, какую онъ имѣлъ въ этомъ мѣстѣ. Затѣмъ Герике поднялся на вершину башни, открылъ здѣсь кранъ и нашелъ, какъ и ожидалъ, что воздухъ слегка выходилъ изъ трубки. Онъ подчеркиваетъ при этомъ, что принялъ мѣры къ тому, чтобы температура бутылки оставалась неизмѣнной, такъ ему было хорошо извѣстно, что нагрѣваніе закрытаго воздуха должно вызвать истеченіе извѣстнаго количества его.

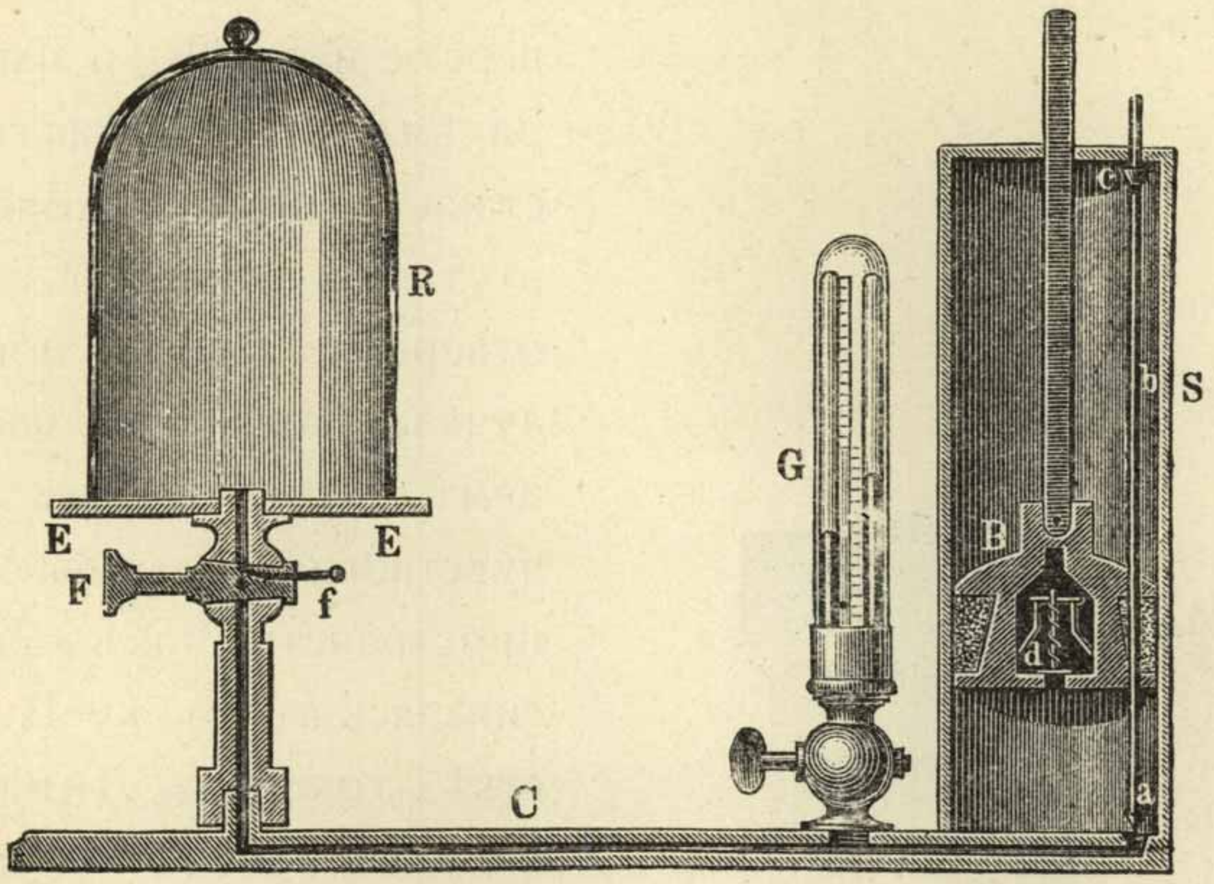
255. Когда опыты Герике стали извѣстны въ Англіи, они побудили Роберта Бойля заняться воздушнымъ насосомъ. Бойль улучшилъ этотъ насосъ и изслѣдовалъ цѣлый рядъ явленій въ пустомъ пространствѣ. Гюйгенсъ также улучшилъ этотъ приборъ и по его указанію Деніель Папенъ сталъ продолжать изслѣдованія сначала одинъ, а затѣмъ вмѣстѣ съ Бойлемъ. Этимъ людямъ и принадлежитъ главная заслуга выработки того типа воздушнаго насоса, который изображенъ на рис. 254 и 255. Справа виденъ цилиндръ. Въ поршнѣ находится клапанъ *d*, который открывается вверхъ, т. е. наружу. Другой клапанъ, въ видѣ пробки, насаженъ на стержень, проходящій сквозь поршень и верхнюю стѣнку цилиндра; къ поршню этотъ стержень пригнанъ герметически. На верхнемъ концѣ стержень имѣетъ надставку. Когда поршень движется вверхъ, онъ увлекаетъ за собою стержень и клапанъ *a* открывается. При опусканіи поршня клапанъ закрывается. Заключенный подъ поршнемъ воздухъ уходитъ черезъ клапанъ *d*. Отверстіе *a* соединяется каналомъ со срединою плоско отшлифованной стеклянной пластинки, „тарелки“. На тарелку ставится колоколъ, изъ-подъ котораго долженъ быть выкачанъ воздухъ; шлифованный край его смазывается саломъ для того, чтобы онъ лежалъ на тарелкѣ совершенно плотно.

Всякій разъ, когда поршень подымается вверхъ, воздухъ, находящійся въ ко-

http://mathesis.ru

локолѣ, въ соединительномъ каналѣ и въ самой нижней части цилиндра, въ такъ называемомъ „вредномъ пространствѣ“, отчасти входитъ въ цилиндръ. Такимъ образомъ, онъ разрѣжается и степень этого разрѣженія зависитъ отъ объемовъ колокола и цилиндра. Когда поршень опускается, воздухъ выходитъ изъ цилиндра указаннымъ образомъ. Мы не будемъ разсматривать „вреднаго пространства“, которое должно быть возможно меньше, и примемъ, напримѣръ, что объемъ колокола вмѣстѣ съ соединительнымъ каналомъ составляетъ 2 *л*, а объемъ цилиндра 1 *л*. Въ такомъ случаѣ, послѣ перваго движенія поршня плотность воздуха будетъ составлять $^2/_3$ первоначальной. Слѣдовательно, послѣ двухъ движеній поршня плотность будетъ равна $^2/_3 \times {}^2/_3$ или $^4/_9$, послѣ третьяго $^8/_{27}$, послѣ четвертаго $^{16}/_{81}$ и т. д. первоначальной плотности. Послѣ десятаго движенія поршня она составитъ $^{1024}/_{59049}$ или приблизительно $^1/_{58}$ первоначальной плотности.

Рис. 254



Современная форма воздушнаго насоса (сбоку).

При помощи крана въ трубкѣ *C* соединеніе между цилиндромъ и колоколомъ можно закрыть; это помѣшаетъ воздуху входить изъ цилиндра подъ колоколъ, если цилиндръ пропускаетъ воздухъ. Соединительный каналъ между цилиндромъ и колоколомъ соединяется также съ небольшимъ стекляннымъ колоколомъ *G*, подъ которымъ находится „укороченный барометръ“; по этому барометру можно отсчитывать давленіе воздуха внутри и тѣмъ опредѣлять степень полученнаго разрѣженія.

Одно изъ введенныхъ Бойлемъ улучшеній воздушнаго насоса состояло въ томъ, что въ движеніе приводилось одновременно два насоса (рис. 255) и притомъ такъ, что во время движенія одного поршня вверхъ другой опускается. Это ускоряетъ работу и, такъ какъ оба поршня приводятся въ движеніе однимъ и тѣмъ же механизмомъ (зубчатое колесо съ зубчатыми стержнями составляетъ изобрѣтеніе младшаго современника Бойля — Гауксби), то работа, нужная для поднятія поршня, уменьшается давленіемъ воздуха на другой поршень.

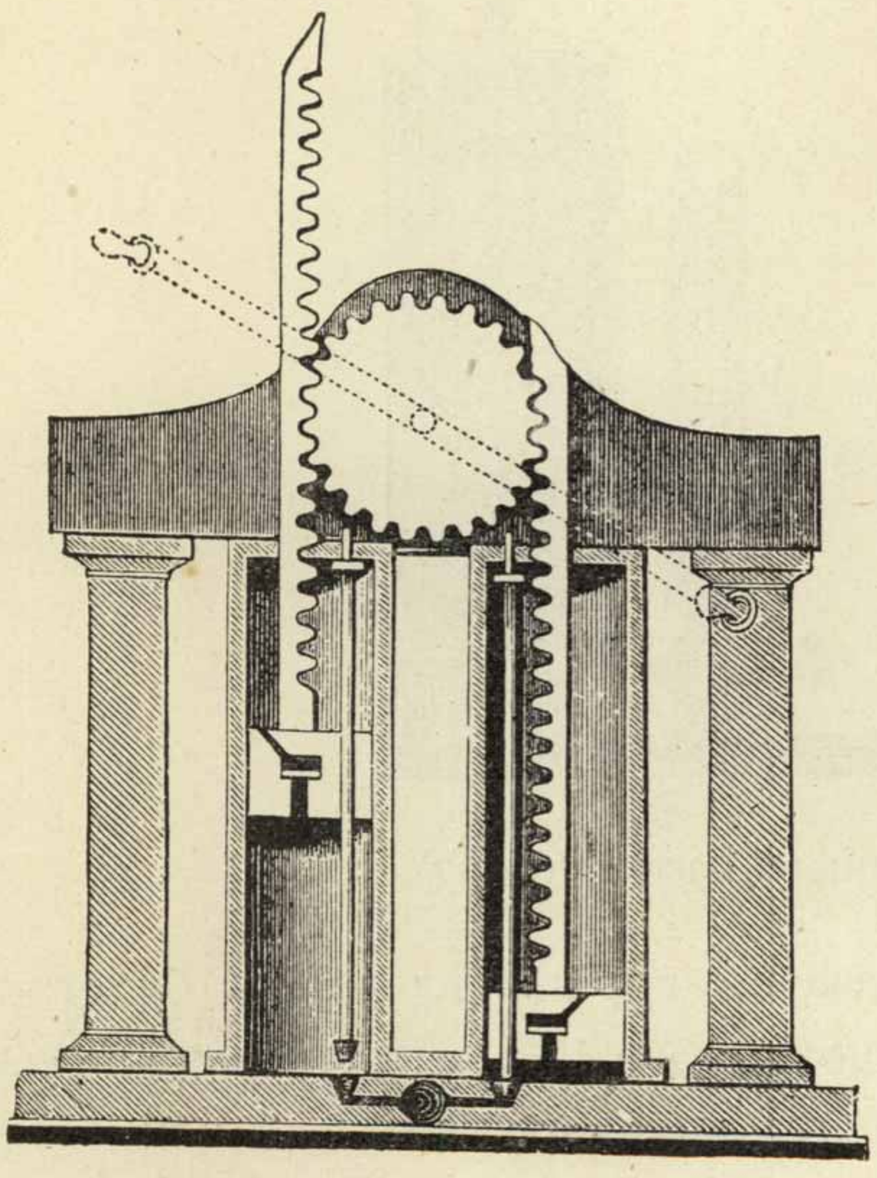
Робертъ Бойль производилъ такія же изслѣдованія надъ явленіями въ пустомъ пространствѣ, какъ и Герике, и притомъ, повидимому, съ большею точностью. Его другія наблюденія надъ тепловыми явленіями будутъ упомянуты ниже.

256. Какія трудности должно было представлять освобожденіе отъ стараго

http://mathesis.ru

взгляда, что пустое пространство съ огромной силой стремится сжаться, можно видѣть изъ того, что были ученые, которые не вѣрили въ правильность новаго воззрѣнія, несмотря на опыты Торричелли, Паскаля, Герике и Бойля. Такъ, напримѣръ, Франциск Линъ, профессоръ въ Люттихѣ (1595—1675), указывалъ въ видѣ возраженія на то, что столбъ ртути не падаетъ въ длинномъ колѣнѣ барометра, если закрыть отверстіе короткаго колѣна, сквозь которое должна дѣйствовать атмосфера. На это можно отвѣтить, что въ короткомъ колѣнѣ, даже если его отверстіе закрыто, всегда содержится нѣкоторое количество воздуха, которое и удерживаетъ ртуть въ другомъ колѣнѣ на прежней высотѣ. Линъ бралъ стеклянную трубку, открытую на обоихъ концахъ, закрывалъ нижнее отверстіе пальцемъ и наполнялъ ее трутью. Затѣмъ онъ закрывалъ верхнее отверстіе, ставилъ нижній конецъ въ чашку съ ртутью и отнималъ палецъ отъ нижняго отверстія. Такимъ образомъ, у него получался барометръ, закрытый сверху пальцемъ. Этотъ палецъ, по мнѣнію Лина, чувствовалъ всасывающую силу пустого пространства, такъ какъ кожа пальца втягивалась въ трубку. Въ пустомъ пространствѣ, говорилъ Линъ, существуютъ не видимыя „нити“, которыя стягиваютъ его стѣнки,—невидимыя нити между ртутью и кожей пальца. Линъ остался при своемъ мнѣніи даже послѣ того, какъ Паскаль, продѣлавъ это наблюденіе, далъ ему правильное объясненіе (§ 243).

Рис. 255



Современная форма воздушнаго насоса (спереди).

257. Теперь Бойль взялся за основательное изслѣдованіе того обстоятельства, которое требовало объясненія прежде всего, а именно того, что столь незначительное количество воздуха, которое было заключено въ барометрѣ, могло удерживать въ равновѣсіи столбъ ртути. При этомъ онъ сдѣлалъ очень важное открытіе.

Для производства опыта ему служила изогнутая стеклянная трубка съ длиннымъ открытымъ и съ короткимъ закрытымъ колѣномъ (рис. 256). Прежде всего приливаніемъ небольшого количества ртути въ закрытомъ колѣнѣ былъ отдѣленъ извѣстный объемъ воздуха. Такъ какъ ртуть имѣла одинаковую высоту въ обоихъ колѣнахъ, то отдѣленный воздухъ находился подъ тѣмъ же давленіемъ, которое производитъ воздушный океанъ, т. е. подъ давленіемъ одной атмосферы. Затѣмъ въ длинное колѣно наливалась еще ртуть и при этомъ было видно, что объемъ заключеннаго въ трубкѣ воздуха тѣмъ меньше, чѣмъ больше налито ртути. Когда объемъ воздуха вдвое меньше первоначальнаго объема (рис. 256 *B*), то ртуть въ открытомъ колѣнѣ стоитъ на двадцать восемь дюймовъ выше, чѣмъ въ закрытомъ. Слѣдовательно, заключенный въ трубкѣ воздухъ находится подъ давленіемъ двухъ атмосферъ—подъ давленіемъ дѣйствительной атмосферы и давленіемъ столба ртути, которое также

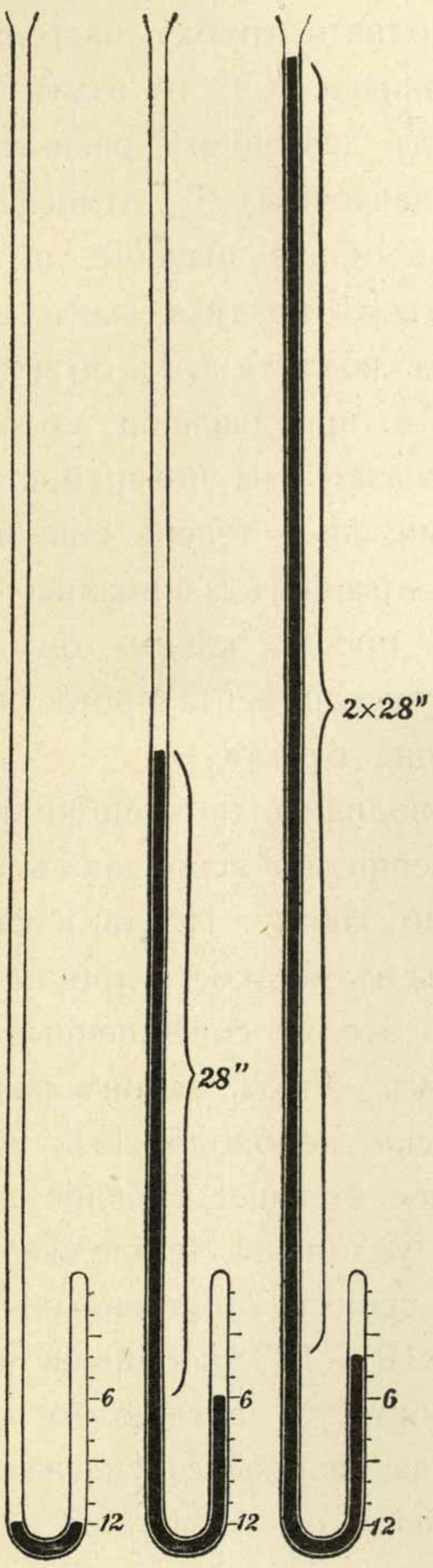
http://mathess.ru

велико, какъ и давленіе воздуха. Бойль продолжилъ эти опыты дальше и для соотвѣтственныхъ объемовъ и давленій получилъ слѣдующія величины:

объемы	12	6	4	3
давленія	1	2	3	4 атмосф.

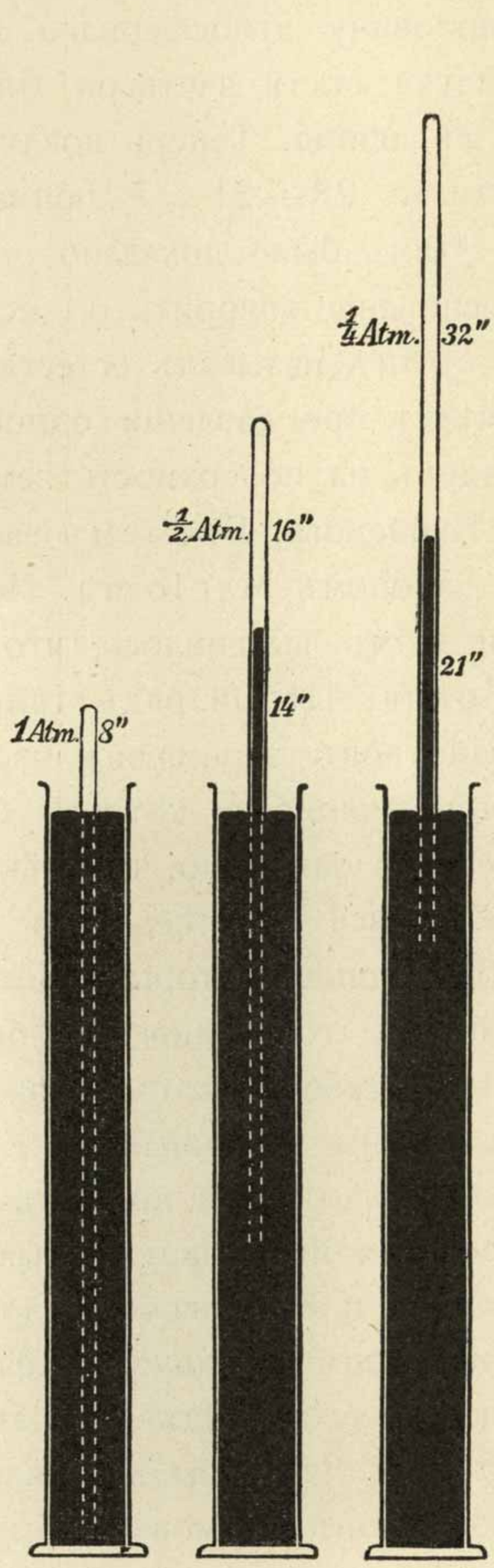
Объемъ массы воздуха уменьшается въ томъ же отношеніи, въ какомъ увеличивается давленіе. Увеличеніе давленія въ 2, 3, 4, 12 разъ уменьшаетъ объемъ до $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$, $^1/_{12}$. Можно также сказать, что произведеніе объема и давленія для опредѣленнаго количества воздуха всегда одно и то же: $12 \times 1 = 6 \times 2 = 4 \times 3 = 3 \times 4$, конечно, если температура воздуха при этомъ не мѣняется.

Рис. 256



Законъ Бойля (сжиманіе).

Рис. 257



Законъ Бойля (расширеніе).

Тогда Бойль сталъ изслѣдовать, сохраняетъ ли этотъ законъ свою силу въ томъ случаѣ, когда давленіе, подъ которымъ находится воздухъ, уменьшается. Онъ наполнилъ трубку, закрытую съ одного конца ртутью, но такъ, что въ ней остава-

http://mathesis.ru

лось немного воздуха, закрылъ отверстіе этой трубки пальцемъ и погрузилъ ее въ глубокій, но узкій сосудъ со ртутью такъ (рис. 257, *A*), что изъ ртути выдавалась какъ разъ часть трубки, наполненная воздухомъ. Пусть эта часть имѣетъ въ длину 8 дюймовъ. Этотъ воздухъ находится подъ давленіемъ одной атмосферы. Если теперь подымать трубку вверхъ, то воздухъ въ ней расширяется, но въ то же время въ трубкѣ подымается и ртуть. Когда трубка подымется настолько, что воздухъ займетъ объемъ, вдвое большій первоначальнаго (*B*), то столбъ ртути будетъ имѣть въ вышину 14 дюймовъ. Такимъ образомъ, давленіе атмосферы на внѣшнюю поверхность ртути, которое равно давленію столба ртути въ 28 дюймовъ высотой, уменьшено на половину атмосфернаго давленія. Если поднять трубку настолько, чтобы объемъ воздуха сталъ вчетверо больше первоначальнаго (*C*), то ртуть подымается на высоту 21 дюйма. Теперь воздухъ находится подъ давленіемъ, равнымъ давленію столба ртути въ $28 - 21 = 7$ дюймамъ, т. е. подъ давленіемъ $^1/_4$ атмосферы.

258. Этимъ было доказано, что законъ имѣетъ общее значеніе, и теперь уже не было основанія говорить о „естественномъ“ объемѣ воздуха, какъ это дѣлалъ Геронъ. Геронъ называлъ естественнымъ объемомъ воздуха тотъ объемъ, который воздухъ имѣетъ при давленіи одной атмосферы, т. е. при давленіи, которое производитъ воздухъ на поверхность земли или, лучше сказать, на поверхность моря.

259. Найденный Бойлемъ законъ прежде всѣми, да и теперь еще нѣкоторыми называется закономъ Маріотта. Позднѣе его изслѣдованіемъ занимались многіе физики и при этомъ выяснилось, что законъ не такъ простъ, какимъ онъ казался по опытамъ Бойля. Цѣлый рядъ самыхъ искусныхъ экспериментаторовъ, по преимуществу французовъ, занимались изслѣдованіемъ закона Бойля.

Первыя отклоненія, которыя были замѣчены, сводились на ошибки наблюденій. Но затѣмъ было замѣчено, что нѣкоторые газы совершенно ясно даютъ иные выводы: они сжимались сильнѣе, чѣмъ это слѣдовало по закону. Но такъ какъ указанные газы были такіе, которые могли быть обращены въ жидкость при помощи сильнаго сжиманія и охлажденія, то было рѣшено, что это не совершенные газы. Для настоящихъ же газовъ этотъ законъ считали вѣрнымъ. Этотъ законъ разсматривали даже, какъ законъ разумный, т. е. считали логически необходимымъ, что воздухъ вдвое большей плотности долженъ производить вдвое большее давленіе. Выдающіеся физики, несмотря на обнаруженныя ими же самими уклоненія, продолжали держаться этого закона и объясняли отклоненія ошибками своихъ собственныхъ измѣреній.

Но, наконецъ, французскій физикъ Реньо (1810—1878) точными измѣреніями неопровержимо установилъ, что этотъ законъ не остается абсолютно точнымъ ни для одного газа. Всѣ газы, за исключеніемъ водорода, сжимаются сильнѣе, чѣмъ этого требуетъ законъ, и, можетъ быть, ихъ всѣ объявили бы парами, за исключеніемъ водорода, который одинъ есть будто бы совершенный газъ, еслибы Реньо въ концѣ концовъ не доказалъ, что и водородъ представляетъ уклоненіе, но въ обратную сторону, а именно, сжимается меньше, чѣмъ требуется по закону Бойля. Такимъ образомъ, не существуетъ вообще ни одного газа, который слѣдовалъ бы этому мнимому закону разума. Но исторія закона Бойля доказываетъ, что не слѣдуетъ слишкомъ торопиться объявлять законы природы логическими необходимостями, т. е. чѣмъ-то такимъ, что можно обосновать простымъ мышленіемъ или вывести изъ математической формулы. Природа должна сама учить насъ законамъ природы и намъ не

http://mathesis.ru

остается ничего, какъ только возможно лучше подгонять наши формулы къ законамъ дѣйствительности. Впрочемъ, для цѣлей практической жизни законъ Бойля опредѣляетъ сжатіе газовъ достаточно точно.

260. Эдмъ Маріоттъ родился въ 1620 г. въ Бургони, въ департаментѣ Соны и Луары. Сначала онъ былъ пріоромъ одного монастыря вблизи Дижона, но затѣмъ, благодаря своимъ успѣшнымъ научнымъ изслѣдованіямъ, пріобрѣлъ извѣстность, былъ приглашенъ въ 1666 году въ члены Парижской Академіи наукъ и оставался здѣсь до самой смерти въ 1684 году. Теперь онь могъ больше отдаться наукѣ и онъ произвелъ здѣсь много цѣнныхъ работъ. Не зная упомянутой работы Бойля[1]), онъ издалъ въ 1676 году превосходный трудъ о свойствахъ воздуха, въ которомъ онъ устанавливаетъ тотъ же законъ о сжимаемости воздуха, который былъ установленъ и обоснованъ аналогичными опытами Бойля за нѣсколько лѣтъ до того. Въ то же время онъ взялся за задачу опредѣленія высотъ при помощи барометра, которой занимался уже Паскаль, не давшій, однако, ея полнаго рѣшенія.

261. Изъ опыта, произведеннаго зятемъ Паскаля Перье, выходило, что давленіе воздуха на вершинѣ горы меньше, чѣмъ у ея подножія, и Паскаль указалъ на то, что этимъ явленіемъ можно воспользоваться для опредѣленія высоты мѣста. Эта мысль была подхвачена нѣкоторыми другими учеными, но болѣе точная связь между увеличеніемъ высоты и уменьшеніемъ давленія осталась неизвѣстной.

Маріоттъ опредѣлялъ высоту барометра на Парижской обсерваторіи сначала въ глубокомъ погребѣ, затѣмъ на уровнѣ земли и наконецъ на вершинѣ обсерваторіи; изъ этихъ наблюденій онъ вычислялъ давленіе воздуха на болѣе значительныхъ высотахъ. Очень интересно слѣдить за осторожными вычисленіями Маріотта въ этой области, гдѣ раньше вычисляли мало и гдѣ, казалось, съ трудомъ примѣнима математическая обработка. Поэтому мы перейдемъ къ вычисленіямъ Маріотта, но не съ его числами, а съ числами, переведенными въ болѣе употребительныя теперь мѣры.

Различіе высотъ барометра съ измѣненіемъ его положенія можно было очень легко измѣрить на такомъ высокомъ зданіи, какъ Парижская обсерваторія,—его можно наблюдать и при гораздо меньшемъ измѣненіи высоты. Именно, барометръ падаетъ на 1 *мм* при повышеніи всего на 10·5 *м*. Само собою разумѣется, что мы должны представлять себѣ уменьшеніе давленія воздуха постепеннымъ, какъ и убываніе его плотности. Представимъ себѣ, однако, вмѣстѣ съ Маріоттомъ, что воздухъ состоитъ изъ отдѣльныхъ тонкихъ слоевъ и что каждый слой имѣетъ равномѣрную плотность. Представимъ себѣ еще, что въ самомъ нижнемъ слоѣ давленіе воздуха составляетъ 760 *мм*, въ слѣдующемъ затѣмъ 759 *мм*, въ слѣдующемъ 758 *мм* и т. д. Тогда мы можемъ вычислить, какую толщину (высоту) имѣетъ каждый изъ этихъ слоевъ; именно, если сравнить первый слой со вторымъ, то оказывается, что второй слой, съ давленіемъ всего въ 759 *мм*, долженъ занимать бо̀льшее пространство, чѣмъ первый, и по закону Маріотта это пространство должно быть въ $\frac{760}{759}$ разъ больше

---

[1]) Это предположеніе врядъ ли вѣрно. Работа Маріотта „Essai sur la nature de l'air", въ которой содержится этотъ законъ, появилась въ 1679 году, а работа Бойля о томъ же предметѣ „Новые опыты о пружинности воздуха" (New experiments touching the spring of the air) была опубликована уже въ 1660 году. Ср. Тэтъ, Свойства матеріи.

http://mathesis.ru

того пространства, которое занимаетъ первый слой. Такимъ образомъ, толщина этого слоя должна быть $\frac{760}{759} \times 10{\cdot}5$ *м*. Въ третьемъ слоѣ давленіе достигаетъ 758 *мм*, значитъ, онъ долженъ быть въ $\frac{760}{758}$ разъ толще перваго. Согласно этому толщина послѣдовательныхъ слоевъ должна быть:

$$10{\cdot}5,\ \frac{760}{759} \times 10{\cdot}5,\ \frac{760}{758} \times 10{\cdot}5,\ \frac{760}{757} \times 10{\cdot}5 \ldots$$

Для того чтобы опредѣлить высоту мѣста съ даннымъ давленіемъ воздуха, напримѣръ, высоту мѣста, гдѣ давленіе воздуха равно $^1/_2$ атмосферѣ (380 *мм*), нужно вычислить толщины 380 слоевъ и сложить ихъ. Конечно, такое вычисленіе очень сложно. Маріоттъ произвелъ его слѣдующимъ сокращеннымъ, но не вполнѣ точнымъ способомъ. Нижній слой имѣетъ толщину 10·5 *м*. Верхній слой съ давленіемъ въ 380 *мм* имѣетъ толщину $\frac{760}{380} \times 10{\cdot}5$ или $2 \times 10{\cdot}5$ *м*.

Такимъ образомъ, верхній и нижній слои въ среднемъ имѣютъ толщину 15·75 *м*. То же самое справедливо для второго слоя сверху и второго слоя снизу, такъ какъ послѣдній нѣсколько менѣе плотенъ, чѣмъ нижній, а первый, наоборотъ, плотнѣе самаго верхняго. Значитъ, третій слой сверху и третій снизу, четвертый сверху и четвертый снизу имѣютъ въ среднемъ толщину также въ 15·75 *м*. Итакъ, толщина всѣхъ слоевъ въ среднемъ составляетъ 15·75 *м* и потому высота всѣхъ слоевъ вмѣстѣ составляетъ $15{\cdot}75 \times 380 = 5985$ *м*.

262. Ходъ разсужденія былъ найденъ, но вычисленіе можно было еще улучшить и это сдѣлалъ въ 1762 г. Делюкъ въ Женевѣ. Вычисленіе упрощается, если вычислять не толщину воздушаго слоя на каждый миллиметръ давленія воздуха, а наоборотъ — давленіе воздуха для каждаго слоя толщиною въ 1 *м*.

Такимъ образомъ найдено, что, если принять давленіе атмосферы на уровнѣ моря за одну атмосферу, то давленіе составляетъ

$^1/_2$	атмосферы	на	высотѣ	5539 *м*
$^1/_4$	„	„	„	11078 „
$^1/_8$	„	„	„	16617 „
$^1/_{16}$	„	„	„	22156 „

Такъ какъ при подъемѣ на гору или во время путешествія на воздушномъ шарѣ нельзя вообще знать, какую величину имѣетъ давленіе воздуха въ это же время на уровнѣ моря, то нельзя въ точности знать, на какой высотѣ находишься. Но если потомъ можно найти, какую величину имѣло давленіе воздуха въ томъ мѣстѣ, надъ которымъ находился, то можно вычислить точно и высоту своего поднятія. — Конечно, при этомъ должна быть принята въ разсчетъ и температура воздуха. Обыкновенно приходится довольствоваться одновременными измѣреніями температуры вверху и внизу. На точность результата этого вычисленія вліяетъ неправильное распредѣленіе теплоты въ промежуточныхъ слояхъ.

263. Всѣ опыты, произведенные Аристотелемъ (§ 228), Галилеемъ (§ 229) и Герике (§ 250) для опредѣленія вѣса воздуха нужно признать неудачными. Сдѣлалъ такой опытъ и Бойль; при этомъ онъ думалъ, какъ Галилей, выгнать воздухъ изъ сосуда при помощи нагрѣванія. Конечно, онъ не достигъ этого въ полной

http://mathesis.ru

мѣрѣ и потому разница въ вѣсѣ наполненнаго воздухомъ и пустого — по его мнѣнію — сосуда была слишкомъ мала. Потому же онъ получилъ и слишкомъ малую величину для удѣльнаго вѣса воздуха, а именно $^1/_{938}$.

Вѣсъ воздуха можно было опредѣлить точнѣе изъ вычисленій, произведенныхъ Маріоттомъ. Слой или столбъ воздуха вышиною въ 10·5 *м* вѣситъ столько же, сколько вѣситъ слой или столбъ ртути вышиною въ 1 *мм*. Послѣдній въ 10500 разъ меньше перваго, поэтому ртуть въ 10500 разъ тяжелѣе воздуха. Такъ какъ ртуть въ 13·6 разъ тяжелѣе воды, то вода въ $\frac{10500}{13{\cdot}6}$ или въ 772 раза тяжелѣе воздуха, притомъ воздуха при давленіи въ одну атмосферу (760 *мм*) и при температурѣ 0°. При другомъ давленіи и при другой температурѣ воздухъ имѣетъ другую плотность, а слѣдовательно, и другой (удѣльный) вѣсъ.

Примѣръ 1. Сколько граммовъ вѣситъ 1 *кбсм*, 1 *л* и 1 *кбм* воздуха при 0° и 760 *мм*?

Примѣръ 2. Вычислить вѣсъ воздуха въ комнатѣ, въ которой находишься.

264. Имя Маріотта встрѣчается и во многихъ другихъ областяхъ физики. Мы уже видѣли его въ ученіи о свѣтѣ (слѣпое пятно, § 111) и встрѣтимъ его еще въ ученіи о теплотѣ и особенно въ метеорологіи. И въ другихъ случаяхъ его дѣятельность была по преимуществу продолженіемъ и дополненіемъ работъ, начатыхъ другими. Такъ онъ продолжилъ изслѣдованія Валлиса, Рена и Гюйгенса объ ударѣ. Приборъ Маріотта для изученія удара можно теперь найти во всякомъ физическомъ кабинетѣ. Равнымъ образомъ онъ продолжилъ изслѣдованія Кастелли (§ 232) и другихъ о движеніи воды и работы Торричелли надъ истеченіемъ воды (§ 237). „Маріоттовымъ сосудомъ“ нерѣдко пользуются, когда хотятъ получить равномѣрное истеченіе воды изъ отверстія. Этотъ сосудъ (рис. 258) имѣетъ сбоку внизу отверстіе, а въ горлышко сосуда сквозь просверленную пробку входитъ стеклянная трубка, которую можно больше или меньше вдвигать въ сосудъ. При вытеканіи воды черезъ эту трубку входитъ воздухъ, подымающійся въ водѣ пузырьками. Пока вытекаетъ вода, давленіе на нижнемъ концѣ стеклянной трубки и, слѣдовательно, и во всемъ горизонтальномъ слоѣ, въ которомъ находится этотъ конецъ, равно одной атмосферѣ. Такимъ образомъ давленіе, заставляющее воду выходить изъ отверстія, опредѣляется только высотой этой плоскости надъ отверстіемъ. Поэтому давленіе не мѣняется, пока нижній конецъ трубки находится въ водѣ. Скорость истеченія воды можно легко регулировать передвиганіемъ трубки. Если конецъ трубки находится на высотѣ отверстія, то истеченіе воды, конечно, останавливается.

265. Нагнетательный насосъ, которымъ воздухъ сжимается, не обозначилъ собою поворотнаго пункта въ исторіи естествознанія, какъ насосъ для выкачиванія воздуха Нагнетательный насосъ гораздо старше, если только не имѣть въ виду его современной формы, которую можно построить, какъ насосъ для выкачиванія, съ тою лишь разницей, что клапаны должны открываться въ противоположную сторону; цилиндръ наполняется при движеніи поршня вверхъ, при движеніи же поршня внизъ онъ отдаетъ воздухъ сосуду, въ которомъ собирается сгущенный воздухъ.

Уже пожарный насосъ представляетъ въ извѣстной мѣрѣ нагнетательный насосъ, такъ какъ въ немъ вода сжимаетъ воздухъ въ воздушномъ резервуарѣ. Такимъ нагнетательнымъ насосомъ обладалъ, очевидно, и Ктезибій, который сжималъ имъ

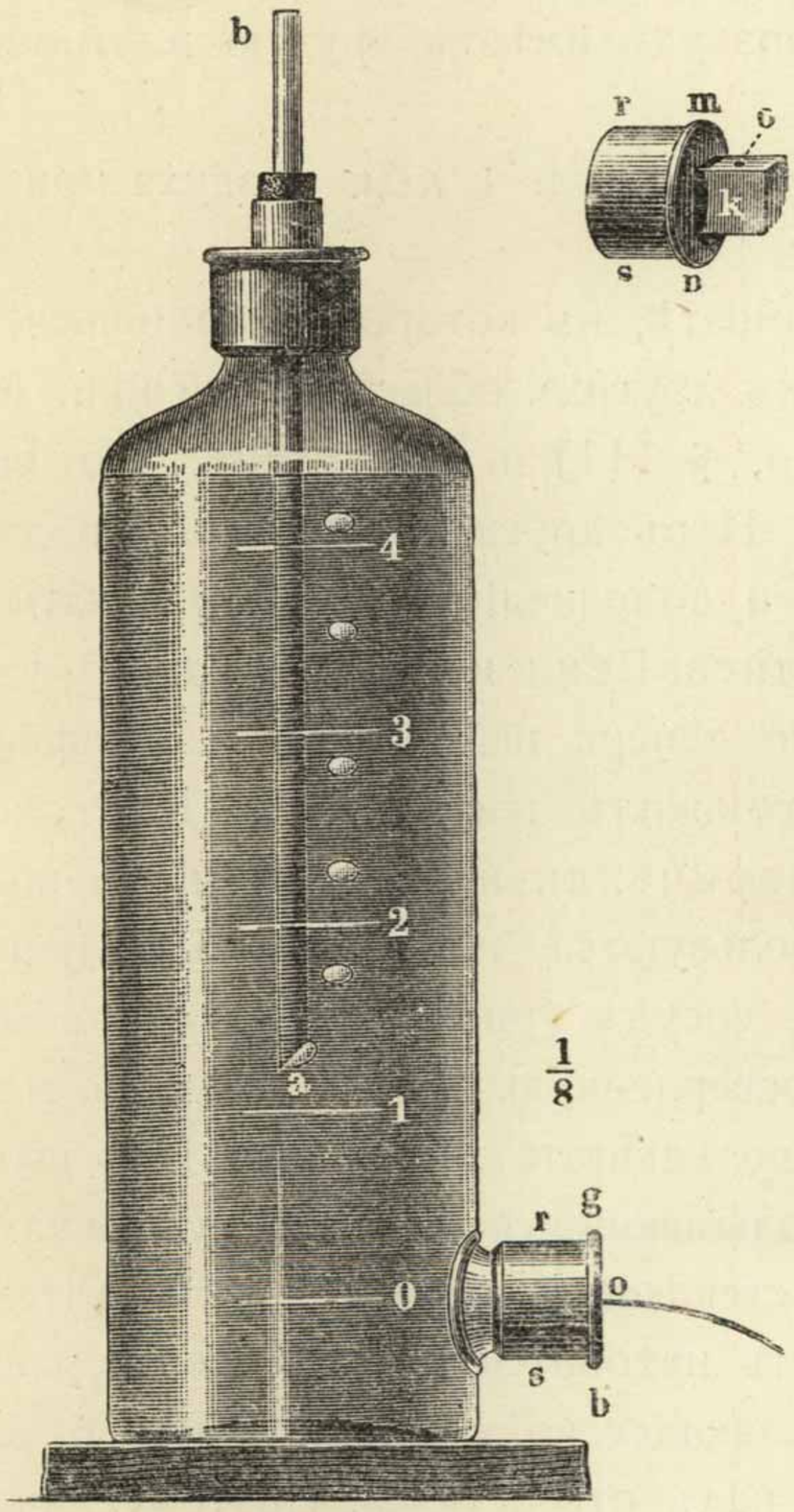
http://mathesis.ru

воздухъ въ своемъ пневматическомъ орудіи, и даже дѣтская хлопушка есть родъ нагнетательнаго насоса. Передній конецъ ея трубки (рис. 259) наглухо закрытъ „пулей“ и такая же совершенно пуля вгоняется шомполомъ въ трубку. Когда воздухъ въ трубкѣ достаточно сжимается, передняя пуля съ шумомъ вылетаетъ.

266. Нагнетательные и выкачивающіе насосы употребляются очень часто и ниже мы познакомимся съ нѣкоторыми ихъ приложеніями. Здѣсь можно привести слѣдующіе примѣры.

Иногда нужно имѣть извѣстные газы въ большомъ количествѣ, но для экономіи мѣста въ сжатомъ состояніи. Въ такомъ случаѣ ихъ сжимаютъ въ стальныхъ сосудахъ при помощи нагнетательнаго насоса.

Рис. 258

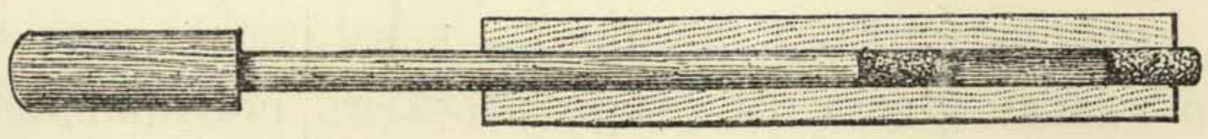


Маріоттовъ сосудъ.

Сжатый воздухъ обладаетъ, конечно, извѣстною способностью производить работу, которою можно воспользоваться для приведенія въ движеніе машинъ. Такими машинами пользуются при прорываніи туннелей. Въ длинныхъ туннеляхъ пользоваться паровыми машинами для сверлильныхъ работъ невозможно, такъ какъ онѣ сдѣлали бы воздухъ туннеля негоднымъ для дыханія. Машина же, работающая сжатымъ воздухомъ, постоянно приводитъ свѣжій воздухъ къ мѣсту работы. Сжатіе воздуха производится внѣ туннеля при помощи насосовъ, приводимыхъ въ движеніе обыкновенно водою, а сжатый воздухъ приводится къ мѣсту работы особыми трубками.

Въ послѣднее время такимъ же образомъ начали снабжать большіе города движущей силой. Большіе котлы наполняются внѣ города сжатымъ воздухомъ при помощи воздушныхъ насосовъ, приводимыхъ въ движеніе паровыми машинами. Сжатый воздухъ отводится въ городъ по трубамъ, гдѣ потребители и пользуются имъ для движенія маленькихъ машинъ. Эта система помимо чистоты имѣетъ за собою то преимущество, что одна большая паровая машина работаетъ экономичнѣе, чѣмъ большое число маленькихъ.

Рис. 289



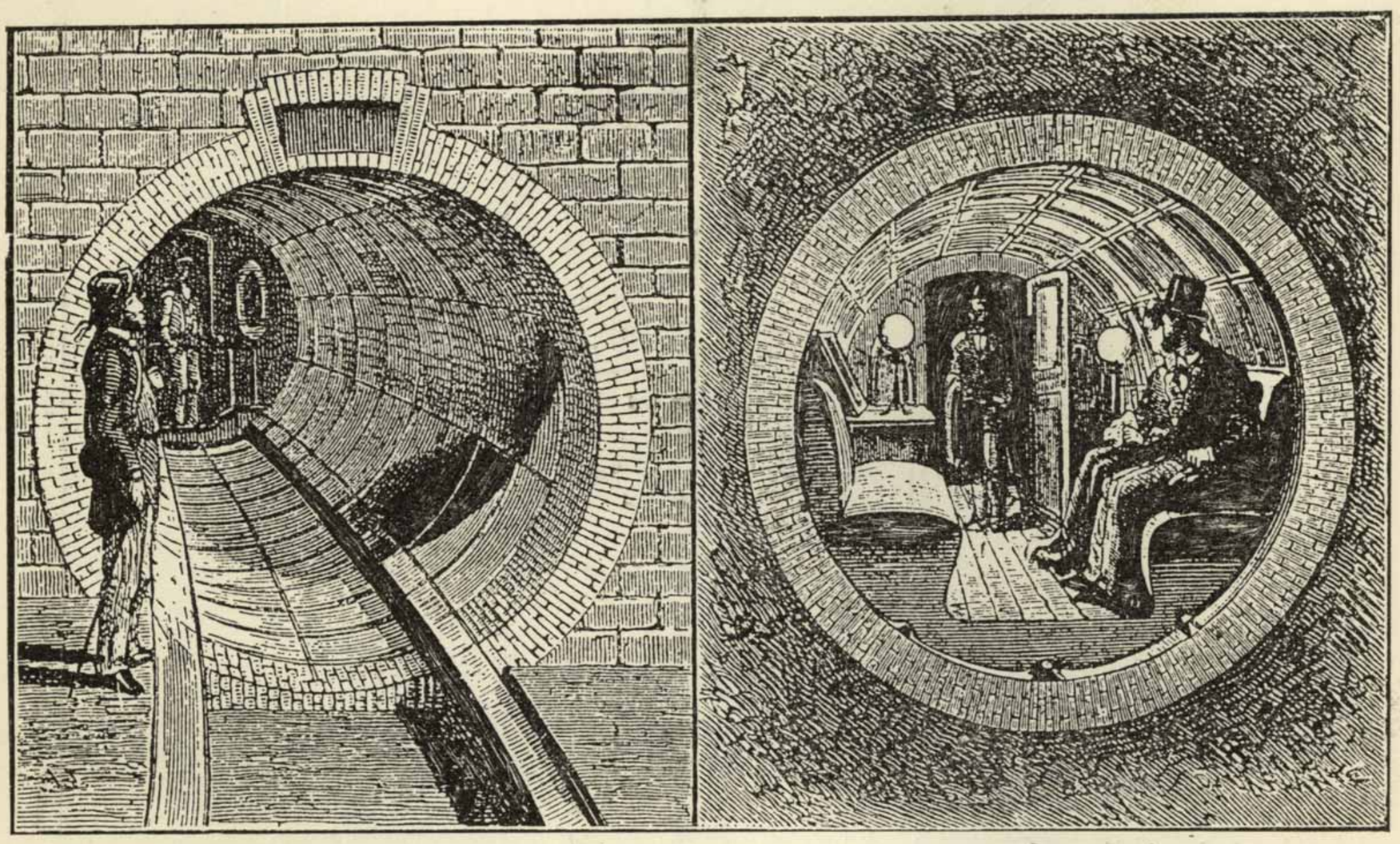
Хлопушка.

Еще раньше, уже съ начала XIX вѣка въ нѣкоторыхъ большихъ городахъ развилась особая система пересылки почты, такъ называемая пневматическая почта. По длиннымъ желѣзнымъ трубамъ отъ одной станціи къ другой давленіемъ воздуха пе-

http://mathesis.ru

редвигается какъ бы пробка съ ящикомъ для писемъ; на конечной станціи отверстіе въ трубѣ открывается и почта вынимается. Движеніе этого ящика производится либо при помощи выкачиванія воздуха впереди его либо при помощи нагнетанія сжатаго воздуха позади. Этимъ способомъ передвиженія въ нѣкоторыхъ мѣстахъ пользовались также для перевозки пассажировъ, которые сидѣли въ не очень большомъ цилиндрическомъ вагонѣ, почти совершенно заполнявшемъ большую трубу (рис. 260). Этотъ способъ передвиженія, однако, не пріобрѣлъ большого практическаго значенія.

Рис. 260



Пневматическая желѣзная дорога въ Нью-Іоркѣ (1870).

267. Сжатый воздухъ имѣетъ большое значеніе при работахъ подъ водой. Геронъ обратилъ вниманіе на то (§ 209), что внутренность сосуда остается сухой, если погрузить его въ воду отверстіемъ внизъ. Воздухъ въ сосудѣ мѣшаетъ водѣ войти. Этотъ фактъ уже въ то время былъ давно извѣстенъ. Еще Аристотель упоминаетъ, что въ водѣ можно оставаться долгое время, если надѣть себѣ на голову котелъ, но практическое приложеніе это явленіе нашло только гораздо позднѣе. Такъ, въ видѣ курьеза можно привести представленіе, которое въ 1538 г. два грека дали въ Толедо въ присутствіи императора Карла V и большой толпы. Покрывшись съ головой большимъ котломъ, они спускались въ воду съ горящею свѣчою, оставались тамъ продолжительное время и затѣмъ выходили изъ нея съ горящею свѣчою и въ сухомъ платьѣ. Только въ 1588 г., когда часть испанской „непобѣдимой Армады“ разбилась на западномъ берегу Шотландіи, были употреблены, повидимому, воздушные колокола для поднятія затонувшихъ сокровищъ.

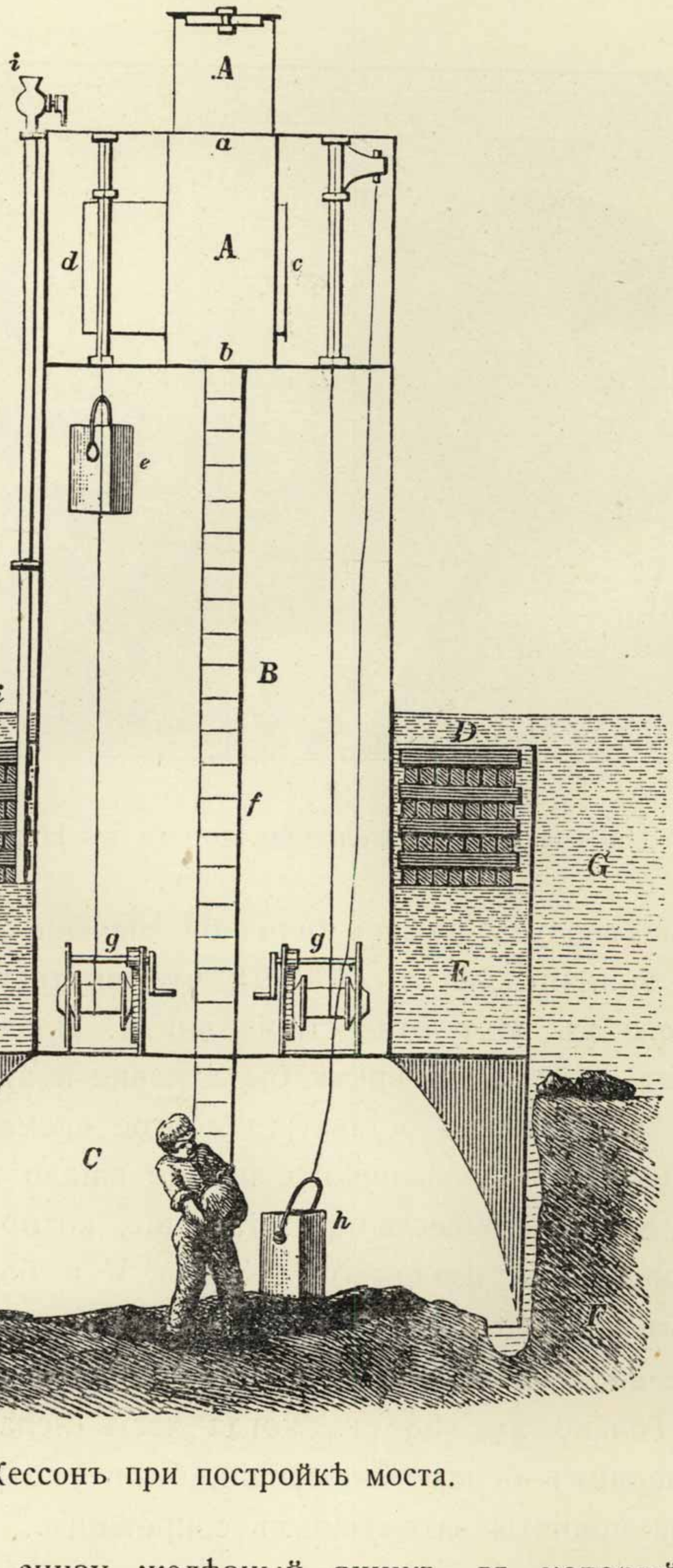
Позднѣе этотъ водолазный колоколъ получалъ различныя формы соотвѣтственно тому, для какихъ цѣлей онъ предназначался. Особыя заслуги въ отношеніи постройки водолазнаго колокола и освѣженія въ немъ воздуха принадлежатъ англичанамъ Роберту Гуку и Эдмунду Галлею. Для послѣдней цѣли однимъ изъ важнѣйшихъ средствъ является нагнетательный насосъ.

http://mathesis.ru

Водолазный колоколъ развился въ двухъ различныхъ направленіяхъ: во-первыхъ, въ видѣ большого прибора, въ которомъ на днѣ можетъ работать нѣсколько человѣкъ, и затѣмъ въ видѣ водолазнаго костюма, въ которомъ можетъ двигаться только одинъ человѣкъ.

Рис. 261 показываетъ сѣченіе водолазнаго колокола или кессона, употреблявшагося въ 1868 году при перестройкѣ моста въ Копенгагенѣ. Въ общемъ онъ пред-

Рис. 261



Кессонъ при постройкѣ моста.

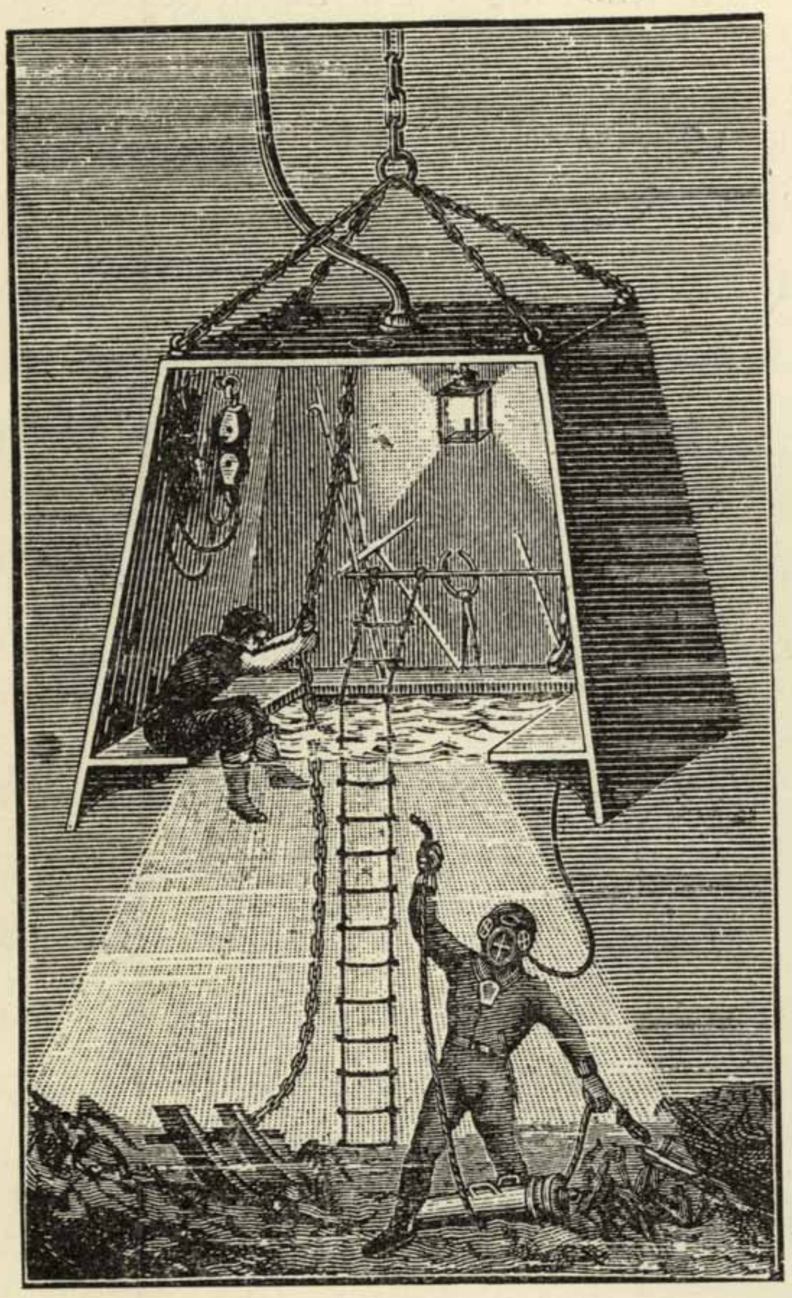
ставляетъ большой открытый снизу желѣзный ящикъ, въ который черезъ особую трубку, посредствомъ паровой машины, нагнетается воздухъ. Этотъ воздухъ вытѣсняетъ воду до краевъ колокола и при дальнѣйшей работѣ насоса воздухъ выходитъ изъ колокола и подымается пузырями на поверхность воды. Если нужно опуститься въ колоколъ, то сначала черезъ люкъ *a* входятъ въ пространство *A*, затѣмъ люкъ

http://mathesis.ru

наглухо закрываютъ и открываютъ кранъ, черезъ который изъ *B* выходитъ сжатый воздухъ. Когда воздухъ въ пространствѣ *A* пріобрѣтаетъ такую же плотность, какую онъ имѣетъ въ *B*, можно открыть люкъ *b* и спуститься въ большой колоколъ. Такимъ же образомъ при оставленіи колокола сначала подымаются изъ пространства *B* въ пространство *A*, открываютъ въ немъ кранъ, сквозь который выходитъ воздухъ и только, когда воздухъ въ *A* принимаетъ плотность внѣшняго воздуха, покидаютъ пространство *A*. За исключеніемъ нѣсколько хлопотливаго спуска и подъема, на днѣ такого колокола можно работать такъ же легко, какъ и на сухой землѣ.

Водолазный костюмъ (рис. 262) состоитъ изъ гуттаперчеваго мѣшка, форма котораго соотвѣтствуетъ формѣ человѣческаго тѣла (безъ головы). Сверху въ немъ есть большое отверстіе, черезъ которое водолазъ влѣзаетъ въ этотъ мѣшокъ. Штанины этого костюма снизу совершенно закрыты, рукава же, наоборотъ, имѣютъ отверстія для рукъ. Эти рукава у кисти герметически закрыты, чтобы вода не могла попасть внутрь. Для лучшаго закрыванія служитъ гуттаперчевое кольцо въ видѣ браслета. Костюмъ у шеи зашнуровывается, но не наглухо, такъ какъ его воротникъ входитъ въ металлическій шлемъ, который затѣмъ одѣвается на голову. Этотъ шлемъ охватываетъ также плечи и верхнюю часть груди и спины. Онъ снабжается однимъ или нѣсколькими окошечками и соединяется съ толстостѣнной гуттаперчевой трубкой, сквозь которую сверху (съ палубы судна) непрерывно накачивается свѣжій воздухъ. Потребленный воздухъ выходитъ снизу изъ-подъ шлема. —Такъ какъ вытѣсняемая водолазомъ вода подымаетъ его вверхъ, лишая его почти всего вѣса, то онъ не можетъ стоять твердо на днѣ. Поэтому его вѣсъ увеличиваютъ, прикрѣпляя пластинки свинца на подошвахъ, а также на груди и на спинѣ.

Рис. 262



Водолазъ на днѣ.

Одѣтый въ такой костюмъ, водолазъ можетъ спускаться на глубину 30 и болѣе метровъ, но едвали больше 45. Притомъ онъ непремѣнно долженъ быть сильнымъ человѣкомъ. Онъ можетъ производить на днѣ моря важныя работы, снимать цѣнные предметы съ затонувшихъ судовъ, производить предварительную задѣлку пробоинъ затонувшихъ судовъ, можетъ приспособить къ наполненному водою помѣщенію внутри судна гуттаперчевую трубку, сквозь которую затѣмъ при помощи нагнетательнаго насоса можетъ накачиваться воздухъ. Этимъ путемъ позднѣе можно поднять судно.

268. Съ самыхъ древнихъ временъ человѣкъ не считалъ совершенно невѣроятной возможность летать. Почему бы человѣкъ, которому природа не дала возможности летать, не могъ бы достичь при помощи искусства того, что возможно для животныхъ? Открытіе, что воздухъ представляетъ цѣлый океанъ и что въ этомъ

http://mathesis.ru

океанѣ каждое тѣло вытѣсняется кверху съ тѣмъ бо́льшею силой, чѣмъ больше оно само (§ 250), привело къ тому, что мысль о возможности летанія, или, лучше сказать, плаванія въ океанѣ воздуха, приняла опредѣленную форму. Іезуитъ Франческо Лана въ Брешѣ (1631 — 1687) предложилъ изготовить четыре большихъ мѣдныхъ шара въ двадцать футовъ въ діаметрѣ, со стѣнками толщиною въ $^1/_{23}$ линіи, и выкачать изъ нихъ воздухъ. Если высчитать съ одной стороны вѣсъ такого шара, а съ другой силу подъема, дѣйствующую на шаръ такой величины, то окажется, что послѣдняя гораздо меньше перваго. Слѣдовательно, еслибы эти шары должны были подыматься на воздухѣ одни, ихъ стѣнки должны были бы быть гораздо тоньше; еще тоньше они должны были бы быть для того, чтобы поднять что-нибудь кромѣ себя. Но уже и указанная Ланой толщина стѣнокъ не выдержала бы громаднаго давленія, какое долженъ былъ оказать воздушный океанъ на шаръ съ выкачаннымъ воздухомъ—этотъ шаръ былъ бы сплющенъ.

Послѣ открытія водорода, удѣльный вѣсъ котораго относительно воздуха составляетъ приблизительно только $^1/_{15}$, нетрудно было придти къ мысли наполнить большой шаръ водородомъ. Такой шаръ могъ бы имѣть стѣнки гораздо тоньше, чѣмъ безвоздушный. И въ опытахъ заставить подняться шаръ, наполненный водородомъ, недостатка не было; но долгое время ни одинъ изъ нихъ не удавался, отчасти по тому, что вещества, изъ которыхъ дѣлалась оболочка, не были плотны, а отчасти по тому, что они были слишкомъ тяжелы. Удался лишь опытъ Кавалло (род. 1749 въ Неаполѣ, ум. 1809 въ Лондонѣ) съ поднятіемъ мыльныхъ пузырей, наполненныхъ водородомъ.

Наконецъ, двумъ французамъ, братьямъ Жозефу и Жаку Монгольфье, можно сказать, почти случайно удалось изобрѣсти воздушный шаръ. Это были фабриканты въ Видалонъ-Лезъ-Аннонэ въ Севеннахъ (департаментъ Ардешъ). Здѣсь они наблюдали, какъ облака подымаются по склонамъ горы и иногда даже переваливаютъ черезъ вершины. Поэтому они попробовали заключить такое облако въ большой мѣшокъ, для чего заставили подыматься въ него паръ изъ котла. Однако, мѣшокъ дѣлался влажнымъ и стѣнки его спадались. Познакомившись позднѣе съ книгой Пристлея о газахъ, они стали дѣлать опыты съ водородомъ, но также безуспѣшно. Наконецъ они получили то, что сочли за особый газъ (gaz de Montgolfier), сжигая влажную солому. Когда они наполнили этимъ газомъ, который считали болѣе легкимъ, большой бумажный мѣшокъ, то мѣшокъ поднялся.

Опытъ въ болѣе значительныхъ размѣрахъ, который братья Монгольфье произвели въ Аннонэ 4 іюня 1783 года съ полотнянымъ шаромъ, имѣвшимъ въ поперечникѣ 38 футовъ и взлетѣвшимъ въ нѣсколько минутъ на высоту 1500 футовъ, возбудилъ большое изумленіе. Когда вѣсти объ этомъ опытѣ достигли Парижа, здѣсь тотчасъ же собрали деньги для повторенія опыта. Производство его было поручено Жаку Шарлю. Шарль родился въ 1746 году, обучался художеству и механикѣ, производилъ много опытовъ съ электричествомъ и читалъ превосходныя лекціи объ этой новой наукѣ. Такъ какъ онъ ничего не могъ узнать о газѣ, которымъ пользовались братья Монгольфье, кромѣ того, что онъ вдвое легче атмосфернаго воздуха, то рѣшилъ воспользоваться водородомъ. Былъ приготовленъ шаръ съ поперечникомъ въ 12 футовъ, наполненный водородомъ, полученіе котораго въ такомъ большомъ количествѣ въ то время представляло серьезную процедуру. 27 августа

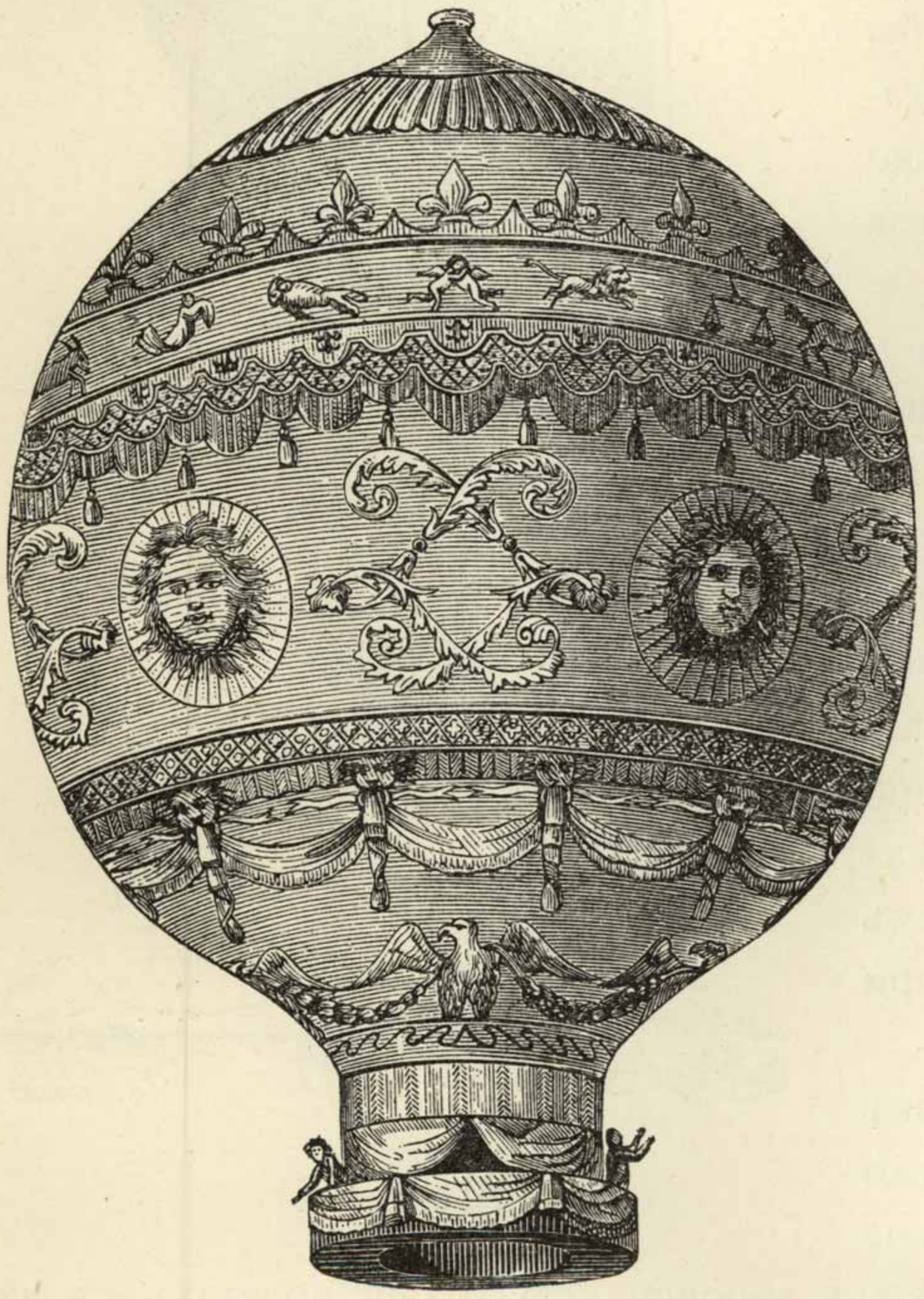
http://mathesis.ru

того же года готовый шаръ былъ выпущенъ и быстро поднялся въ воздухъ. Населеніе Парижа наблюдало это зрѣлище съ необычайнымъ интересомъ.

Такъ на короткомъ промежуткѣ четверти года были изобрѣтены оба рода воздушныхъ шаровъ: наполняемые теплымъ атмосфернымъ воздухомъ „монгольфьеры“ и наполняемые водородомъ или свѣтильнымъ газомъ „шарльеры“. Послѣдній газъ добывается легче водорода, по вѣсу приблизительно вдвое легче воздуха, вѣся почти какъ разъ столько, сколько и теплый газъ, которымъ наполняются монгольфьеры.

269. Уже въ томъ же году на воздушныхъ шарахъ стали подыматься и люди, какъ на монгольфьерахъ, такъ и на шарльерахъ. Для помѣщенія пассажировъ служила прикрѣпленная къ шару лодочка. 21 ноября поднялись на монгольфьерѣ (рис. 263) химикъ Пилатръ де Розье и маркизъ Д'Арландъ, 3 декабря на шарльерѣ поднялись самъ Шарль и его мастеръ Роберъ (рис. 264). Эти полеты прошли счастливо, но при продолженіи опытовъ съ Розье въ 1785 году произошло несчастье: на высотѣ приблизительно 600 метровъ надъ землею его шаръ загорѣлся и онъ вмѣстѣ со своимъ спутникомъ физикомъ Ромэномъ погибли при паденіи. Шарль позднѣе также предпринималъ полеты со счастливымъ исходомъ. Онъ умеръ въ 1823 году.

Рис. 263



Монгольфьеръ.

Судьба Розье должна была предостеречь отъ пользованія монгольфьерами для полета людей. Однако, монгольфьеры имѣютъ передъ шарльерами то преимущество, что ихъ можно заставлять подыматься или опускаться по произволу, разводя бо́льшій или меньшій огонь подъ большимъ отверстіемъ въ нижней части шара. Однако, опасность отъ огня слишкомъ велика. При поднятіи на шарльерѣ подъемъ шара возможенъ только при помощи выбрасыванія взятыхъ заранѣе мѣшковъ баласта. Для опусканія шара приходится терять часть газа, выпуская его черезъ клапанъ. Ни того ни другого, въ виду ограниченности запаса песка и газа, нельзя повторять слишкомъ часто.

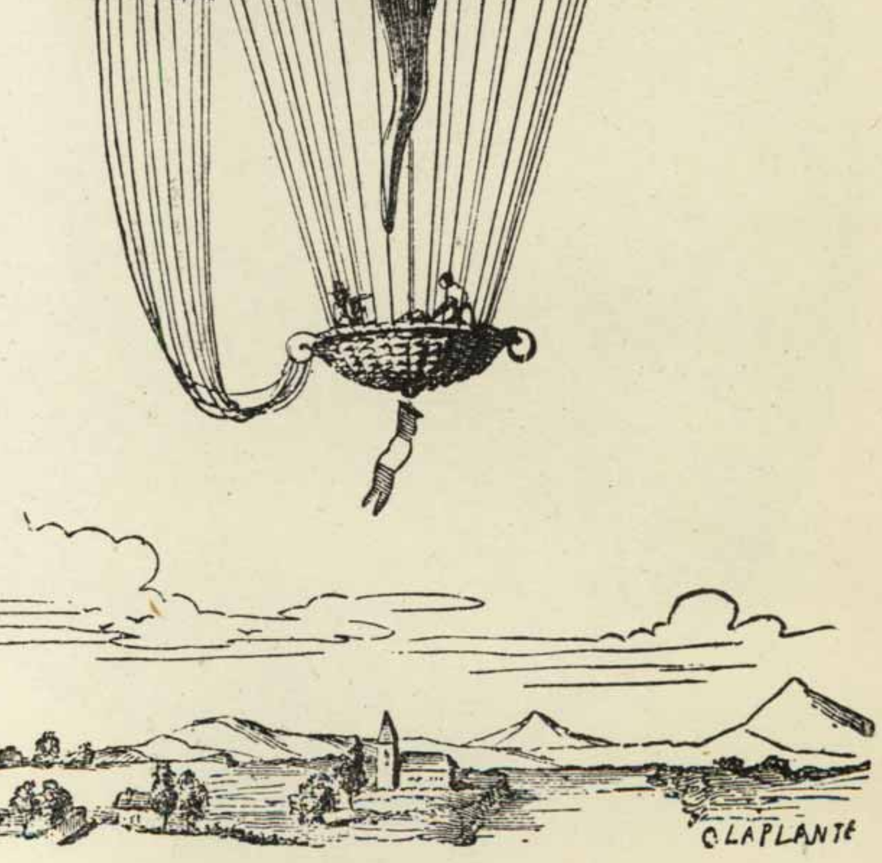
270. Величайшій недостатокъ воздушныхъ шаровъ состоитъ въ томъ, что ими нельзя управлять и что они должны слѣдовать за теченіями воздуха (вѣтрами). Къ этому присоединяется еще то обстоятельство, что спускъ на землю нерѣдко сопряженъ съ опасностью. Въ послѣднемъ отношеніи неудобство представляетъ уже и то, что воздухоплаватель лишь въ незначительной степени можетъ выбирать мѣсто спуска. Затѣмъ скорость при приближеніи къ землѣ вообще очень велика. Уже „свѣжій“ вѣтеръ имѣетъ скорость 3 миль въ часъ, а скорость шара одинакова со ско-

http://matfesis.ru

ростью вѣтра. Въ силу послѣдняго воздухоплаватели даже во время бури чувствуютъ вокругъ себя штиль.

Что касается управленія шарами, то, само собой разумѣется, такихъ опытовъ было сдѣлано очень много. Собственно говоря, устройство приспособленій, которыя могли бы двигать шаръ въ любомъ направленіи, само по себѣ не было бы трудно, если-бы только у насъ въ распоряженіи была движущая сила, которая могла бы сообщить шару достаточно большую скорость. Но достичь этого трудно, не отяготивъ шаръ громоздкой машиной. Поэтому стремленія изобрѣтателей были обращены прежде всего на то, чтобы создать возможно легкій, но сильный двигатель. До сихъ поръ, однако, удавалось только держаться противъ слабаго вѣтра или иногда преодолѣвать его.

Рис. 264



Шарльеръ.

Такъ какъ сила, которая должна приводить шаръ въ движеніе противъ вѣтра, въ виду значительной величины шара должна быть соразмѣрно большой, то въ послѣднее время за эту задачу принялись съ совершенно другой стороны. Теперь начинаютъ, отказываясь отъ принципа плаванія, обусловленнаго вытѣсненіемъ воздуха, подражать полету птицъ, при которомъ играетъ роль сопротивленіе воздуха поверхности крыльевъ. Этимъ сопротивленіемъ можно съ выгодой пользоваться особенно при большой скорости.

Воздушный шаръ съ тѣхъ поръ, какъ онъ сталъ извѣстенъ, употреблялся не только для удовольствія; онъ нашелъ практическое приложеніе въ нѣсколькихъ войнахъ и оказалъ хорошія услуги при полетахъ съ научными цѣлями. Когда дѣло идетъ о значительныхъ высотахъ, то во всякомъ случаѣ механическій летательный приборъ не можетъ вступать въ состязаніе съ воздушнымъ шаромъ. Наибольшей высоты, 10000 *м* достигли въ 1862 г. англичане Глэшеръ и Коксвелль. На этой высотѣ давленіе воздуха составляло около $^1/_4$ атмосферы (§ 262).

http://mathesis.ru

Мірозданіе

Свѣдѣнія и открытія послѣ 1630 г.

---

http://mathesis.ru

http://mathesis.ru

Свѣдѣнія и открытія послѣ 1630 г.

Земной шаръ

271. Послѣ открытія Америки западно-европейцы—какъ въ свое время греки (Эратосѳенъ, § 28, и Посидоній, § 52) и магометане (Аль-Мамунъ, § 57)—стали пытаться измѣрить величину земного шара. Уже давно было извѣстно, какъ можно опредѣлить разность широтъ двухъ мѣстъ. Для этого нужно только опредѣлить въ этихъ мѣстахъ высоты полюса и взять ихъ разность (§ 46). Значительно труднѣе опредѣлить разстояніе двухъ мѣстъ въ линейной мѣрѣ.

Одинъ уважаемый парижскій врачъ Жанъ Фернель произвелъ такое измѣреніе въ 1525 г. Для этого онъ проѣхалъ изъ Парижа въ Амьенъ и сосчиталъ число оборотовъ колесъ своего экипажа. Такъ какъ его путь не всегда шелъ по прямой линіи, то ему пришлось нѣсколько исправить полученную длину пути. Онъ нашелъ для длины градуса широты довольно точное значеніе 57 070 туазовъ (1 туазъ = 6 парижскимъ футамъ = 1·949 *м*).

Слѣдующее измѣреніе произвелъ въ 1615 г. голландецъ Снелліусъ (§ 106). Главная его заслуга состояла въ томъ, что онъ ввелъ при этомъ измѣреніи способъ тріангуляціи. Способъ тріангуляціи основанъ на томъ, что для опредѣленія треугольника и вычисленія всѣхъ его частей достаточно знать одну сторону и два прилегающихъ къ ней угла (§ 23). Если сначала измѣрить на ровномъ и удобномъ мѣстѣ линію $a\,b$ (рис. 265), то дальше линій можно уже не мѣрять, а все остальное можно получить при помощи угловыхъ измѣреній и вычисленій. Для этого выбираютъ болѣе замѣтные пункты мѣстности, часто далекіе другъ отъ друга, однако такіе, чтобы изъ одного пункта можно было видѣть другіе. Въ этихъ пунктахъ устанавливаются шесты или другіе сигналы, на которые направляется угломѣрный приборъ. Измѣривъ въ треугольникѣ $a\,b\,c$ углы a и b (для контроля также, пожалуй, c), можно вычислить и сторону $a\,c$. Принявъ эту линію за основаніе треугольника $a\,c\,d$, измѣряютъ углы этого треугольника, вычисляютъ $c\,d$ и т. д. Когда такимъ образомъ весь промежутокъ между двумя станціями заполненъ извѣстными треугольниками, можно вычислить и разстояніе этихъ станцій.

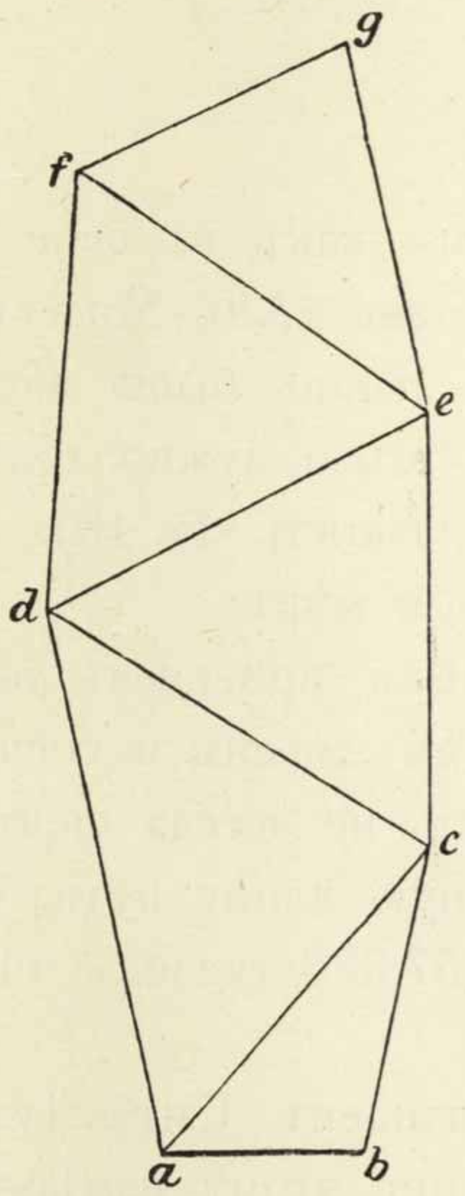
Позднѣе такія измѣренія были произведены англичаниномъ Норвудомъ и итальянцемъ Риччіоли. Первый нашелъ, что градусъ равняется 57424 туазамъ, послѣдній—61478 туазамъ. Такъ какъ результаты этихъ измѣреній сильно отличались другъ отъ друга, то въ 1667 г. Людовикъ XIV поручилъ произвести новое градусное измѣреніе физику Жану Пикару. Пикаръ родился въ 1620 г. въ городѣ Ла-

http://mathesis.ru

флешъ, былъ однимъ изъ первыхъ семи членовъ Парижской академіи и умеръ въ Парижѣ въ 1682 г. Пикаръ нашелъ для длины градусы очень точное значеніе 57060 туазовъ. Кромѣ того, ему принадлежитъ большая заслуга, что онъ производилъ измѣренія угловъ не просто при помощи визира, а при помощи инструмента, который былъ снабженъ зрительной трубой съ перекрестными нитями (§ 104).

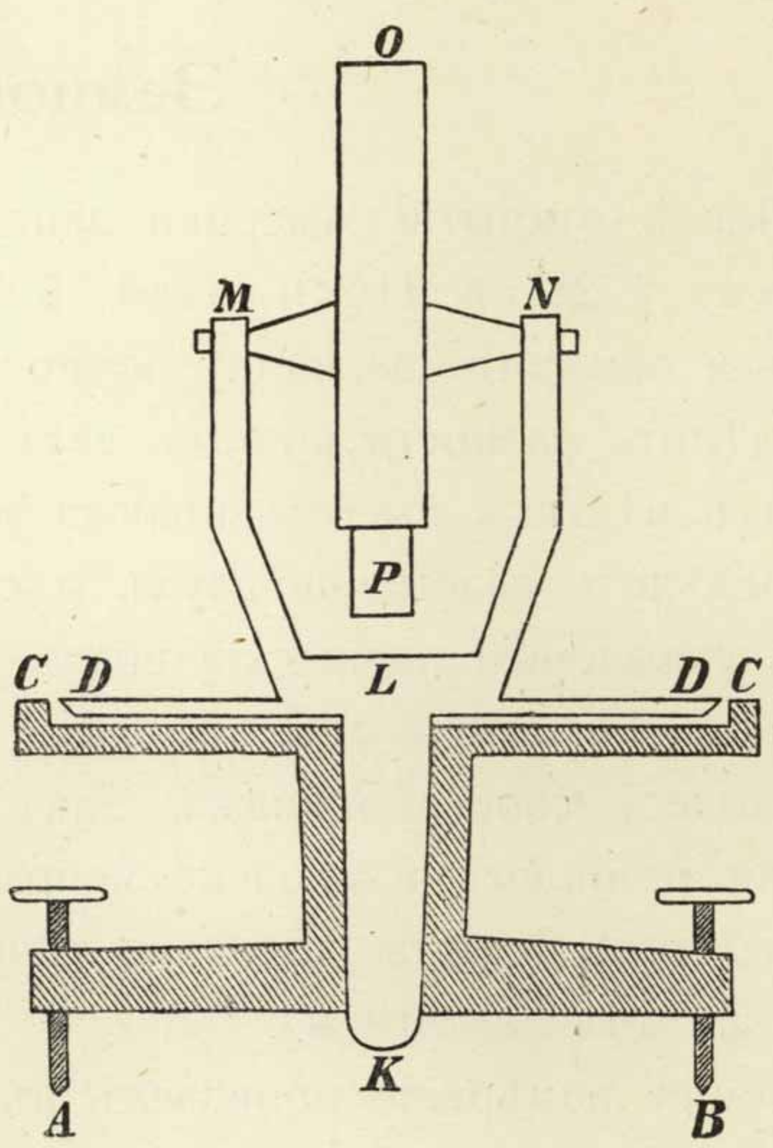
272. Это составило существенный шагъ въ конструкціи такъ называемаго теодолита, которымъ пользуются для различныхъ цѣлей, особенно при геодезическихъ измѣреніяхъ. Рис. 266 представляетъ вертикальное сѣченіе теодолита. Заштрихован-

Рис. 265



Тріангуляція.

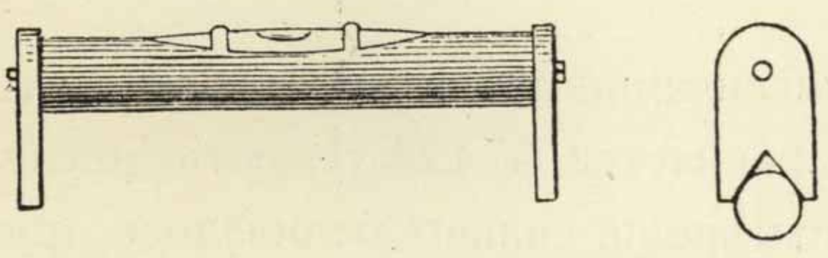
Рис. 266



Теодолитъ.

ная часть представляетъ прочный штативъ съ просверленнымъ вертикально отверстіемъ и съ кольцеобразной частью CC, снабженной тонкими дѣленіями. Внутри этой части, плотно прилегая къ ней, находится второй кругъ DD, наглухо скрѣпленный съ вилкой $KLMN$. Коническая ось K вращается въ отверстіи штатива, а вилка имѣетъ подставки для оси зрительной трубы PO. При помощи трехъ установочныхъ винтовъ въ ножкахъ штатива, изъ которыхъ два (A и B) видны на рисункѣ, можно установить инструментъ такъ, чтобы его ось KL была вертикальна; въ послѣднемъ можно убѣдиться при помощи уровня (рис. 267), который накладывается на ось трубы. Именно, ось KL будетъ вертикальна, если при вращеніи подвижной части инструмента на полный оборотъ пузырекъ уровня не будетъ перемѣщаться. Горизонтальность оси трубы можно опредѣлить, перекладывая уровень.

Рис. 267



Уровень.

При помощи зрительной трубы съ перекрестными нитями можно чрезвычайно точно

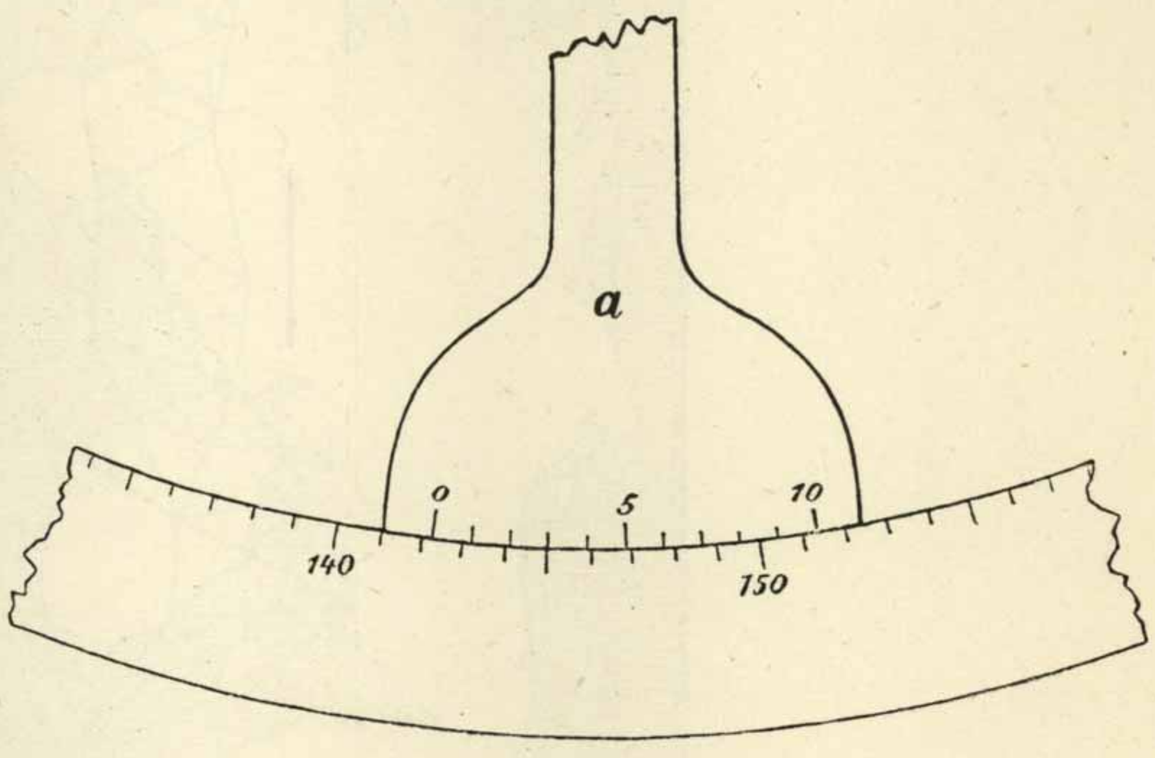
http://mathesis.ru

визировать на сигналъ далекой станціи. Затѣмъ нужно опредѣлить положеніе этого сигнала на кругѣ *D* относительно дѣленій круга *C* и притомъ возможно точно,—гораздо точнѣе, чѣмъ позволяетъ непосредственный отсчетъ штриховъ раздѣленнаго круга.

273. Необходимая точность достигается при помощи такъ называемаго ноніуса. Это приспособленіе получило свое названіе отъ имени португальца Педро Нуньеса, который въ 1542 г. описалъ другое приспособленіе для той же цѣли. Регіомонтанъ и Тихо Браге также пользовались различными средствами, при помощи которыхъ они старались добиться подобной же точности отсчетовъ (ср. рис. 41). Настоящій ноніусъ, который у французовъ справедливо называется „верніеромъ“, въ первый разъ описывается въ книгѣ, изданной въ 1630 г. Пьеромъ Вернье или Петеромъ Вернеромъ (1580 — 1631).

Устройство этого важнаго приспособленія, имѣющаго различныя формы соотвѣтственно инструменту, часть котораго оно составляетъ, и соотвѣтственно дѣленіямъ инструмента, показано на рис. 268. Само собою разумѣется, его можно сдѣлать и на прямомъ масштабѣ. На подвижной части *a* находится нулевая точка. Сначала отсчитывается предшествующій ей цѣлый градусный штрихъ, на нашемъ рисункѣ 142°. Долю градуса, которую нужно прибавить къ 142°, можно получить при помощи ноніуса слѣдующимъ образомъ. На подвижной части *a* нанесенъ отрѣзокъ, равный 9 градусамъ неподвижныхъ дѣленій; но здѣсь онъ раздѣленъ не на 9, а на 10 равныхъ частей. Такимъ образомъ, каждая изъ этихъ частей равна $^9/_{10}$ градуса. Одинъ изъ штриховъ неподвижныхъ дѣленій всегда будетъ совпадать (болѣе или менѣе точно) съ однимъ изъ штриховъ ноніуса. На рис. 268 такъ совпадаетъ третій штрихъ ноніуса. Поэтому точный отсчетъ будетъ 142·3°. Въ самомъ дѣлѣ, такъ какъ со штрихомъ неподвижныхъ дѣленій совпадаетъ штрихъ 3, то штрихъ 2 удаленъ отъ соотвѣтственнаго штриха неподвижныхъ дѣленій на $^1/_{10}$, штрихъ 1 на $^2/_{10}$ и штрихъ 0 на $^3/_{10}$.

Рис. 268



Ноніусъ.

274. Рис. 269 даетъ представленіе о датскомъ градусномъ измѣреніи, сдѣланномъ въ XIX столѣтіи. Первоначальная основная линія (базисъ) этой сѣти такъ мала, что ее нельзя было представить на этой картѣ. Это была линія длиною въ 2500 *м* на островѣ Амагеръ, измѣренная при помощи четырехъ стальныхъ брусковъ (жезловъ). Жезлы осторожно укладывались одинъ на продолженіи другого въ горизонтальномъ положеніи, но не касаясь другъ друга. Величины промежутковъ между ними опредѣлялись при помощи стекляннаго клина извѣстныхъ размѣровъ, который вкладывался между ними.

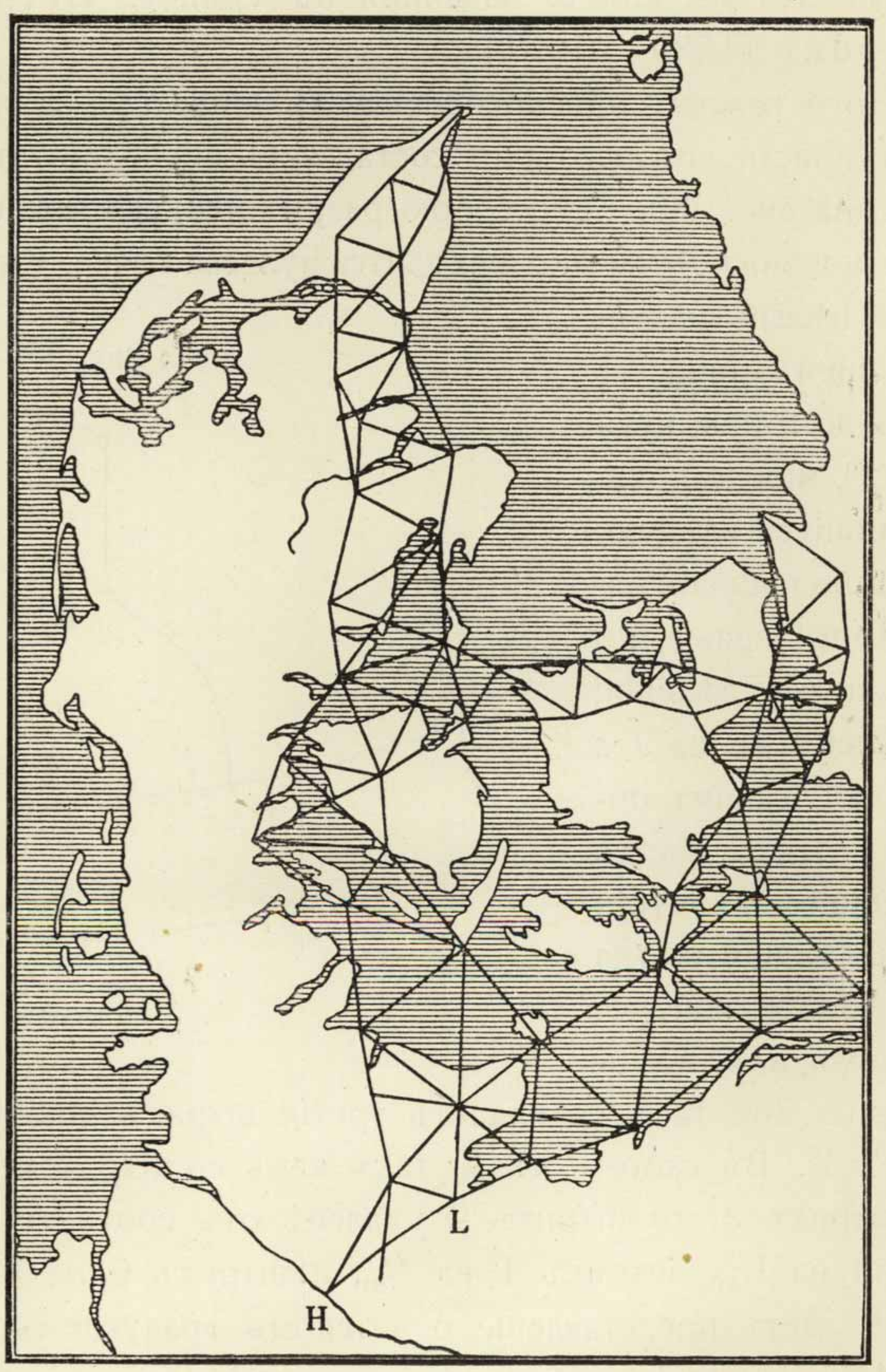
Какъ показываетъ эта карта, визировки можно производить на далекія разстоянія, такъ что требуется сравнительно небольшое число треугольниковъ, чтобы связать

http://mathesis.ru

Швецію черезъ датскіе острова въ восточной Ютландіи со Скагеномъ, черезъ Малый Бельтъ съ Гамбургомъ или вдоль Зунда черезъ южные датскіе острова съ Мекленбургомъ и оттуда съ Гамбургомъ.

275. При упомянутыхъ до сихъ поръ измѣреніяхъ предполагалось, что земля есть шаръ, что она, слѣдовательно, имѣетъ вездѣ одинаковую кривизну. Но одно случайное наблюденіе заставило усомниться въ этомъ. Въ 1671 г. Парижская Академія послала одного изъ своихъ сочленовъ, Рише, въ Кайену, въ Южной Америкѣ, гдѣ онъ долженъ былъ произвести нѣкоторыя астрономическія наблюденія. Въ

Рис. 269



Датская градусная сѣть.

числѣ его приборовъ были между прочимъ часы съ маятникомъ, которые до отъѣзда шли вѣрно, но въ Кайенѣ стали отставать на двѣ минуты въ сутки. Рише долженъ былъ укоротить маятникъ на $1^1/_4$ линіи, чтобы часы снова шли вѣрно. Когда въ 1673 г. онъ вернулся въ Парижъ, оказалось, что его часы стали уходить впередъ на 2 минуты въ сутки, и для того, чтобы часы снова шли вѣрно, маятникъ пришлось опять удлинить на $1^1/_4$ линіи.

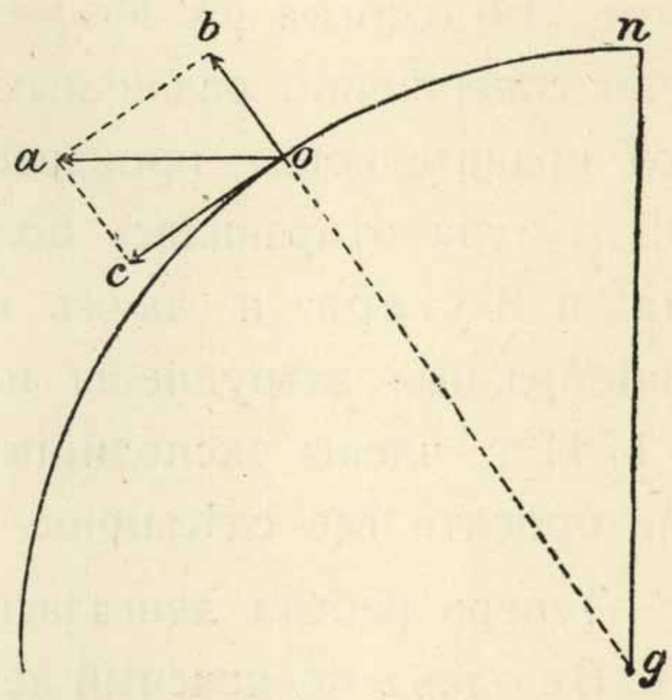
http://mathesis.ru

То же сообщалось и о часахъ съ маятниками, которые на берегахъ Африки и въ Вестъ-Индіи шли слишкомъ медленно. По общепринятому тогда взгляду единственной причиной замедленія хода часовъ съ маятниками было удлиненіе маятника въ тропическихъ странахъ подъ вліяніемъ тепла.

Изобрѣтатель часовъ съ маятникомъ Гюйгенсъ, вычисливший также центробѣжную силу (§ 174), понялъ, однако, что дѣйствіе теплоты недостаточно для объясненія этого явленія и что главная причина отставанія часовъ совсѣмъ иная. Именно, центробѣжная сила, обусловленная вращеніемъ земли вокругъ оси, больше всего на экваторѣ; кромѣ того, она направлена здѣсь въ сторону, прямо противоположную силѣ тяжести. Съ уменьшеніемъ же силы тяжести маятникъ долженъ качаться медленнѣе и часы должны отставать.—Вычисленія Гюйгенса подтвердили правильность этого объясненія.

276. Гюйгенсъ сталъ изслѣдовать дѣйствіе центробѣжной силы въ другихъ мѣстахъ земной поверхности, напримѣръ, въ мѣстахъ средней широты (рис. 270). Въ точкѣ a она, очевидно, должна имѣть направленіе oa, перпендикулярное къ земной оси ng. Но силу oa можно разложить на двѣ составляющихъ ob и oc. Первая изъ нихъ уменьшаетъ силу тяжести, а послѣдняя стремится отталкивать предметы къ экватору, что непремѣнно должно обнаружиться въ распредѣленіи воды (въ морѣ). Именно, послѣдняя должна скопляться въ экваторіальныхъ областяхъ и море должно имѣть форму, соотвѣтствующую сплющенному шару. Разстояніе между полюсами должно быть меньше поперечника экватора. А такъ какъ форма суши мало отличается отъ формы моря—даже самыя высокія горы имѣютъ немногимъ больше одной мили въ высоту—, то весь земной шаръ долженъ имѣть сплющенную форму. Гюйгенсъ наглядно пояснялъ это, укрѣпляя на оси мягкій глиняный шаръ и приводя его во вращеніе. При вращеніи этотъ шаръ сплющивался.

Рис. 270



Дѣйствіе центробѣжной силы.

Гюйгенсъ вычислилъ величину сжатія земли и нашелъ для нея $^1/_{578}$, иными словами, экваторіальный поперечникъ земли долженъ быть на $^1/_{578}$ больше полярнаго; съ другой стороны Ньютонъ нашелъ для этого сжатія приблизительно вдвое бо̀льшую величину, а именно $^1/_{230}$.

Такая большая разница этихъ результатовъ объясняется тѣмъ, что Гюйгенсъ соединялъ всю силу тяжести въ центрѣ земли, тогда какъ Ньютонъ распредѣлялъ ее равномѣрно по всей массѣ земного шара. Ни то ни другое предположеніе не вѣрно. Поэтому дѣйствительная величина сжатія лежитъ между тѣми числами, которыя нашли Гюйгенсъ и Ньютонъ. Оно приблизительно равно $^1/_{300}$ (точнѣе $^1/_{293}$).

277. Точное опредѣленіе этой величины потребовало, однако, довольно много времени. Такъ какъ его нельзя было вывести изъ измѣреній, сдѣланныхъ раньше, то министръ Людовика XIV Кольберъ подъ вліяніемъ Пикара приказалъ произвести градусное измѣреніе къ сѣверу и къ югу отъ Парижа. Выполненіе этого измѣренія было поручено въ 1680 г. наиболѣе выдающимся членамъ академіи. По смерти

http://mathesis.ru

Кольбера работа остановилась и между 1683 и 1700 гг. совсѣмъ не двигалась впередъ; она была окончена только въ 1718 г. Эта работа дала слѣдующіе результаты: дуга отъ Парижа до Дюнкирхена простиралась на $2^0 45' 50''$, дуга отъ Парижа до Коллiура (на испанской границѣ) на $6^0 18' 47''$. Длина одного градуса на первой дугѣ получилась въ 56960 туазовъ, на другой въ 57097 туазовъ.

Разница въ длинахъ одного градуса на этихъ двухъ дугахъ была тотчасъ же сочтена Кассини и другими за доказательство того, что земля не представляетъ собой точнаго шара. И такъ какъ кривизна должна быть меньше всего тамъ, гдѣ градусы имѣютъ наибольшую длину, то ея кривизна вблизи экватора должна быть меньше, чѣмъ кривизна дальше къ сѣверу. Такимъ образомъ выходило, что земля растянута въ направленіи своей оси вращенія.

Тѣмъ временемъ Гюйгенсъ уже умеръ, Ньютонъ былъ старъ. Но соотечественники послѣдняго вступили въ споръ съ французами, утверждая, что эти измѣренія ошибочны и что земля должна быть сплющена у полюсовъ.

278. Измѣреніе дуги по долготѣ, предпринятое въ 1733 и 1734 гг., отъ западнаго берега Бретани до Страсбурга, казалось, также говорило въ пользу мнѣнія французовъ. Но это не убѣдило англичанъ. Отклоненіе было такъ ничтожно, что изъ него нельзя было вывести достовѣрнаго заключенія. Тогда, по докладу академіи министръ Людовика XV Морепа предложилъ наконецъ произвести градусное измѣреніе въ совершенно различныхъ странахъ. Морепа получилъ разрѣшеніе отъ испанскаго правительства произвести измѣреніе на испанской территоріи въ Перу. Въ 1735 г. туда отправилась большая экспедиція подъ начальствомъ Кондамина, Годена и Бугера и двухъ испанскихъ морскихъ офицеровъ. Экспедиція встрѣтила разнообразныя затрудненія и ей пришлось долго свыкаться съ мѣстными условіями. Въ 1741 г. члены экспедиціи пришли только къ тому, что по общему согласію рѣшили бросить все сдѣланное до тѣхъ поръ и начать сначала.

Теперь работа двигалась успѣшно, но между членами экспедиціи возникъ разладъ. Въ одинъ прекрасный день въ 1744 г. Бугеръ исчезъ. Онъ отправился на родину черезъ Мексику и Кондаминъ узналъ объ этомъ только спустя шесть недѣль, такъ какъ онъ находился на другомъ концѣ дуги. Кондаминъ отправился на рѣку Амазонку, произвелъ основательную съемку ея и вернулся домой въ 1746 г. Испанскіе офицеры вернулись кругомъ мыса Горна. Одинъ изъ нихъ, Уллоа, попалъ въ руки англичанъ и былъ отвезенъ въ Лондонъ, гдѣ его, однако, тотчасъ же выпустили на свободу. Только Годенъ оставался до 1748 г. въ Перу, гдѣ ему пришлось пережить большое землетрясеніе. Лишь въ 1750 г. онъ вернулся домой черезъ Буэносъ Айресъ. Здѣсь онъ получилъ мѣсто учителя и умеръ, не изготовивъ отчета. Остальные участники спорили другъ съ другомъ самымъ упорнымъ образомъ, пока, наконецъ, не согласились опубликовать, какъ результатъ своихъ работъ, слѣдующее. Измѣривъ около $1^1/_2{}^0$ къ сѣверу и $1^1/_2{}^0$ къ югу отъ экватора, всего $3^0 7' 4''$, они получили для длины градуса:

Бугеръ	56 753	туаз.,
Кондаминъ	56 749	„ ,
Уллоа	56 768	„ .

Такъ какъ это измѣреніе производилось на плоскогорьѣ, то его результатъ

http://mathesis.ru

нужно было еще привести къ уровню моря. Въ концѣ концовъ для длины одного градуса экватора была получена величина 56732 туаза.

279. Еще раньше, чѣмъ сталъ извѣстенъ этотъ результатъ, академія въ 1736 г. рѣшила, по предложенію находившагося тогда въ Парижѣ Цельсія, предпринять градусное измѣреніе на сѣверѣ. Экспедиція, во главѣ которой сталъ Мопертюи, отправилась въ Лапландію, гдѣ и былъ измѣренъ одинъ градусъ, преимущественно по льду, при помощи шведскаго правительства и при содѣйствіи Цельсія. Уже въ 1737 г. экспедиція вернулась съ результатомъ, что одинъ градусъ близъ Торнео подъ полярнымъ кругомъ имѣетъ въ длину 57437 туазовъ. Эта величина во всякомъ случаѣ нѣсколько больше той, которую нашли позднѣе шведы, именно 57196. Однако, по окончаніи работъ экспедиціи въ Перу для длины градуса имѣлись слѣдующія величины:

подъ	$66^1/_2{}^0$	сѣв. широты . . .	57437	туазовъ,
„	45	„ „ . . .	57023	„ ,
„	0	„ „ . . .	56732	„ .

Теперь всѣ сомнѣнія были устранены. Французы доказали, что правы были Гюйгенсъ и Ньютонъ.

Наконецъ, въ 1792 г., согласно рѣшенію Національнаго Собранія, была начата новая большая экспедиція, градусное измѣреніе, охватывавшее дугу меридіана, шедшую черезъ всю Францію и Испанію вплоть до Форментеры (на Питіузскихъ островахъ). И здѣсь, хотя не столь рѣзко, обнаружился тотъ же законъ кривизны земли.

280. Послѣднее измѣреніе было предпринято для опредѣленія новой мѣры длины: часть меридіана (четверть) отъ полюса до экватора долженъ былъ имѣть 10 000 000 метровъ. Коммиссія французскихъ математиковъ уже раньше высказывалась въ пользу такого опредѣленія. Болѣе раннее предложеніе Гюйгенса принять за единицу длины секундный маятникъ (третья часть его длины должна была называться временнымъ футомъ, Zeitfuss) было отброшено, такъ какъ оно вводило другое понятіе (время). По окончаніи градуснаго измѣренія и необходимыхъ вычисленій, метръ былъ опредѣленъ въ 1799 г. какъ равный длинѣ 443·296 линій. Въ томъ же году въ Парижѣ въ Bureau des Longitudes былъ положенъ на сохраненіе основной образцовый метръ изъ платины. Позднѣе выяснилось, что величина 443·296 не вполнѣ точна и что 10 000 000-ая часть четверти меридіана равна 443·334 линіямъ. Однако, разъ опредѣленная величина метра удержалась и такимъ образомъ четверть земного меридіана имѣетъ не ровно 10 000 000, а 10 000 856 *м*.

281. Одно изъ главныхъ преимуществъ метрической системы мѣръ представляетъ то, что она является чисто десятичной системой, т. е. что въ ней всѣ болѣе крупныя и мелкія мѣры образуются изъ основной единицы увеличеніями или уменьшеніями въ десять разъ:

1 километръ[1])	= 1000 метрамъ,	1 дециметръ[2])	= 0·1 метра,
1 гектометръ	= 100 „	1 сантиметръ	= 0·01 „
1 декаметръ	= 10 „	1 миллиметръ	= 0·001 „

Для мѣръ поверхности и объема служатъ квадратный метръ, квадратный сан-

---

[1]) Греческія названія для 1000, 100, 10.
[2]) Латинскія названія для 10, 100, 1000.

http://mathesis.ru

тиметръ, кубическій метръ, кубическій сантиметръ и т. д. Кубическій дециметръ называется литромъ. Такимъ образомъ кубическій метръ есть также килолитръ (10 гектолитровъ).

Единица вѣса граммъ есть вѣсъ кубическаго сантиметра дестиллированной воды при 4^0C, т. е. при температурѣ ея наибольшей плотности. Слѣдовательно, литръ воды вѣситъ одинъ килограммъ. Имена кратныхъ вѣсовъ и долей грамма слѣдующія:

1 килограммъ	= 1000 граммовъ,	1 дециграммъ	= 0·1 грамма,
1 гектограммъ	= 100 „	1 сантиграммъ	= 0·01 „
1 декаграммъ	= 10 „	1 миллиграммъ	= 0·001 „

Скорость свѣта

282. Къ числу замѣчательныхъ людей, которыхъ привлекла къ себѣ французская академія, принадлежалъ итальянецъ Джованни Доменико Кассини. Онъ происходилъ изъ знатной семьи и родился въ 1625 г. въ Перинальдо близъ Ниццы. По окончаніи ученія въ Генуѣ и Болоньѣ Кассини сталъ профессоромъ астрономіи въ послѣдней. Здѣсь онъ производилъ различныя астрономическія работы и публиковалъ таблицы спутниковъ Юпитера. По предложенію Пикара, обратившаго вниманіе на работы Кассини, послѣдній былъ приглашенъ въ Парижъ въ качествѣ члена Академіи и королевскаго астронома. Въ 1669 г. Кассини переѣхалъ въ Парижъ.

Здѣсь въ теченіе ближайшихъ 41 года Кассини произвелъ массу работъ на обсерваторіи, открылъ между прочимъ четырехъ спутниковъ Сатурна[1]) и опубликовалъ въ изданіяхъ академіи не менѣе 176 статей. Онъ умеръ въ 1712 г. и сталъ родоначальникомъ цѣлаго ряда замѣчательныхъ ученыхъ, которые всѣ были членами Академіи. Трое изъ нихъ, подобно родоначальнику, были директорами Парижской обсерваторіи, — сынъ наслѣдовалъ отцу три раза. Имена этихъ потомковъ Доменико Кассини были слѣдующія:

Жакъ Кассини, 1677—1756.
Сезаръ Франсуа Кассини, 1714—1784.
Жакъ Доминикъ Кассини, 1748—1845.

Съ послѣднимъ родъ угасъ. Его единственный сынъ Александръ Анри Габріель Кассини, ботаникъ, умеръ уже въ 1832 г., не оставивъ наслѣдника.

283. По предложенію того же Пикара пріѣхалъ въ Парижъ и другой ученый Оле Рёмеръ (рис. 271).

Для того чтобы лучше использовать наблюденія Тихо Браге, которыя, несмотря на изобрѣтеніе зрительной трубы, сохраняли свое неоцѣнимое значеніе и въ слѣдующіе вѣка, въ 1671 г. въ Копенгагенъ пріѣхала французская экспедиція подъ руководствомъ Пикара съ цѣлью точнаго опредѣленія меридіана Раненбурга. Пикаръ былъ чрезвычайно подходящій человѣкъ для такой работы, такъ какъ имѣлъ въ распоряженіи хорошіе инструменты и имѣлъ опытъ, необходимый для такого рода наблюденій, изъ выполненнаго незадолго передъ тѣмъ градуснаго измѣренія (§ 271).

---

[1]) Изъ восьми спутниковъ Сатурна шестой былъ открытъ Гюйгенсомъ (1655), восьмой (1671), пятый (1672), третій и четвертый (1684) Кассини, первый и второй (1789) Гершелемъ и седьмой (1848) Бондомъ.

http://mathesis.ru

Когда по этому поводу онъ вошелъ въ сношенія съ властями въ Копенгагенѣ, ему рекомендовали въ качествѣ помощника при производствѣ градуснаго измѣренія молодого Ремера.

Оле Ремеръ родился въ 1644 году въ Ааргузѣ, посѣщалъ мѣстную соборную школу, а затѣмъ учился въ Копенгагенѣ. Здѣсь въ числѣ его учителей былъ

Рис. 271



Оле Ремеръ.

Размъ Бартолинъ (1625—1698), открывшій двойное преломленіе свѣта въ исландскомъ известковомъ шпатѣ. Рёмеръ помогалъ Бартолину въ изданіи наблюденій Тихо Браге и Бартолинъ рекомендовалъ его Пикару въ качествѣ помощника.

По окончаніи работъ на островѣ Гвенѣ Ремеръ поѣхалъ съ Пикаромъ въ Парижъ. Здѣсь онъ скоро сталъ членомъ Академіи и учителемъ математики дофина. Онъ принималъ участіе въ устройствѣ фонтановъ въ Версали и въ Марли, изобрѣ-

http://mathesis.ru

талъ различные инструменты и ему же, между прочимъ, принадлежитъ заслуга указанія правильной формы зубцовъ зубчатаго колеса (эпициклоида). Наибольшее значеніе имѣютъ его астрономическія наблюденія, которыя онъ производилъ совмѣстно съ Пикаромъ и особенно съ Д. Кассини.

При этихъ наблюденіяхъ дѣло состояло въ измѣреніи промежутковъ времени между двумя послѣдовательными вступленіями спутниковъ Юпитера въ тѣнь планеты или выходами изъ нея. Это явленіе, которое можно наблюдать при помощи самыхъ слабыхъ зрительныхъ трубъ; представляетъ интересъ и само по себѣ въ смыслѣ опредѣленія временъ обращенія спутниковъ Юпитера. Скоро, однако, замѣтили также, что это явленіе, будучи достаточно изучено, при извѣстныхъ вычисленіяхъ можетъ оказать большія услуги моряку и путешественнику.

Именно, вступленіе какого-нибудь спутника Юпитера въ тѣнь наблюдается въ одно и то же время во всѣхъ мѣстахъ земли. Поэтому уже Галилей предлагалъ пользоваться этимъ явленіемъ для опредѣленія географическаго положенія, какъ нѣкотораго рода міровыми часами, подобно тому, какъ Гиппархъ пользовался лунными затменіями (§ 47). Затменіями спутниковъ Юпитера, однако, можно пользоваться гораздо шире, такъ какъ это явленіе можно наблюдать почти каждый день. Юпитеръ имѣетъ большую поверхность, а плоскости орбитъ его спутниковъ такъ близко совпадаютъ съ его собственной, что три ближайшихъ къ нему спутника должны проходить черезъ его тѣнь при каждомъ оборотѣ около планеты. Даже четвертый спутникъ чаще проходитъ черезъ тѣнь, чѣмъ минуетъ ее. Еслибы было возможно предвычислить точныя таблицы моментовъ этихъ явленій, то онѣ могли бы оказать моряку ту же услугу, какъ и хорошій хронометръ. Это вычисленіе, однако, не совсѣмъ просто, такъ какъ вслѣдствіе эллиптичности орбитъ Юпитера и его спутниковъ эти явленія повторяются въ не совсѣмъ одинаковые промежутки времени.

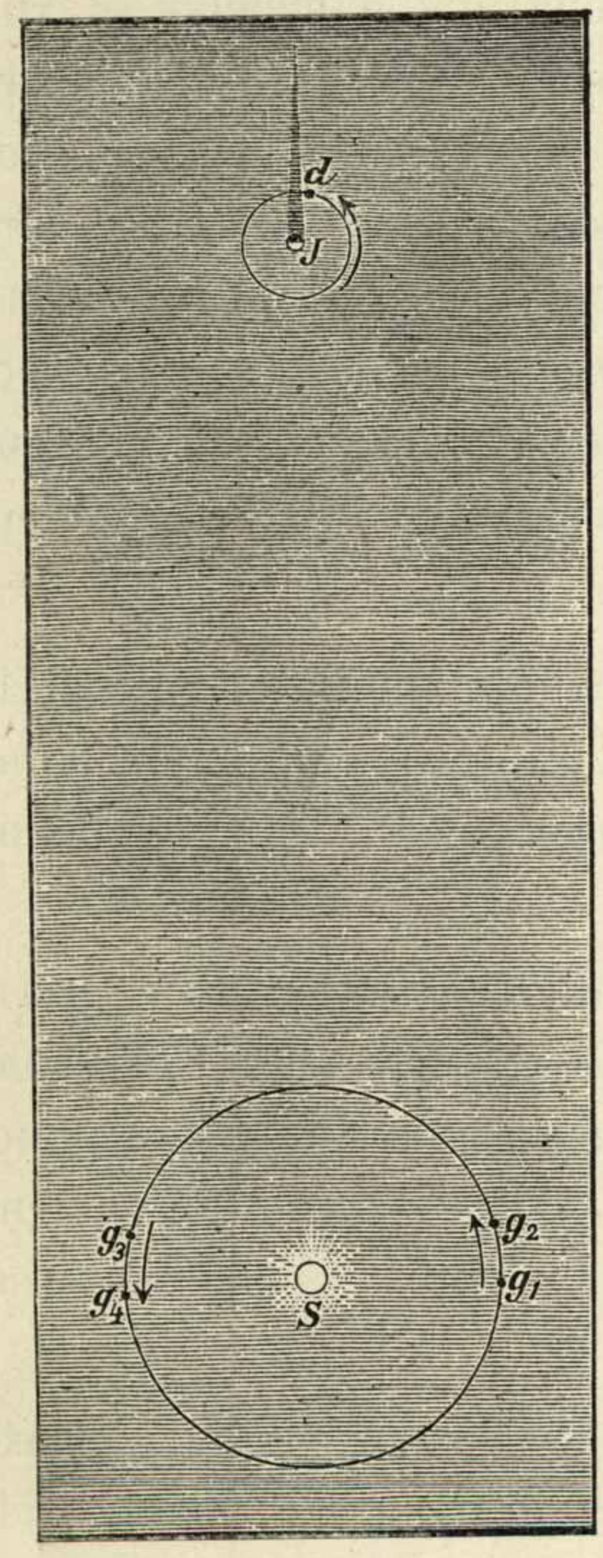
Кассини и Ремеръ взялись за эту работу и между обнаруженными неправильностями оказалось и то, что время между двумя затменіями одного и того же спутника въ одно время года нѣсколько короче, чѣмъ въ другое. На рис. 272 пусть S будетъ солнце, g_1, g_2, g_3, g_4 земля въ различныхъ положеніяхъ на орбитѣ, J Юпитеръ и d одинъ изъ его спутниковъ. Оказалось, что время между двумя затменіями, когда земля находится въ $g_1 g_2$, меньше того времени, когда она бываетъ въ $g_3 g_4$. А такъ какъ нельзя допустить, что положеніе земли оказываетъ дѣйствительное вліяніе на спутниковъ Юпитера, то Кассини и Ремеръ предположили, что въ основѣ этого явленія лежитъ то, что земля въ положеніи $g_1 g_2$, такъ сказать, идетъ навстрѣчу свѣту и что поэтому, когда мы доходимъ до положенія g_2, явленіе происходитъ раньше, чѣмъ было бы въ томъ случаѣ, еслибы мы оставались въ положеніи g_1. Напротивъ, если земля движется отъ g_3 къ g_4, то свѣтъ, настигающій насъ только въ g_4, долженъ доходить нѣсколько позднѣе, чѣмъ въ томъ случаѣ, когда мы оставались бы въ точкѣ g_3. Перемѣщеніе же изъ g_1 въ g_2 всетаки довольно значительно. Земля проходитъ по своей орбитѣ приблизительно 4 мили въ секунду, а время обращенія ближайшаго къ планетѣ спутника, который движется быстрѣе всѣхъ, составляетъ приблизительно 42·5 часовъ. Такимъ образомъ, земля проходитъ между двумя послѣдовательными затменіями этого спутника $42{\cdot}5 \times 60 \times 60 \times 4$, т. е. около 600000 миль. Слѣдовательно, затменіе въ g_2 должно происходить приблизительно на 15 секундъ раньше, а въ g_4 на 15 секундъ позднѣе, чѣмъ слѣдовало бы.

http://mathesis.ru

Когда Кассини въ первый разъ дѣлалъ объ этомъ докладъ въ Академіи, съ различныхъ сторонъ посыпались возраженія противъ его взглядовъ.

По предложенію Галилея Accademia del Cimento пыталась опредѣлить скорость свѣта, для чего два наблюдателя, находившіеся на разстояніи одной мили другъ отъ друга, закрывали экранами свѣтъ. Въ опредѣленное время одинъ изъ нихъ удалялъ экранъ, а другой, какъ только замѣчалъ свѣтъ, долженъ былъ удалять свой экранъ. Время, протекавшее отъ того момента, въ который первый наблюдатель удалялъ экранъ, до того момента, когда онъ замѣчалъ свѣтъ отъ второго наблюдателя, и должно было представлять время, нужное свѣту для прохожденія дважды разстоянія между наблюдателями. Этотъ опытъ, однако, не привелъ ни къ какому результату, такъ какъ получавшійся промежутокъ времени, повидимому, былъ какъ разъ такой, какой былъ необходимъ наблюдателямъ, чтобы произвести нужныя движенія. Большинство ученыхъ придерживалось нѣсколько страннаго утвержденія Декарта, что свѣтъ распространяется мгновенно. Кассини оставилъ дѣло на этомъ, но Ремеръ не бросилъ его. Онъ продолжалъ свою работу и въ 1675 г. представилъ Академіи дальнѣйшія доказательства правильности своего взгляда. Теперь даже Кассини былъ въ числѣ его противниковъ и только небольшое число членовъ Академіи, между ними, однако, Гюйгенсъ, стали на его сторону. Лишь въ слѣдующемъ столѣтіи должно было обнаружиться, что Ремеръ былъ правъ и что свѣтъ распространяется въ пространствѣ со скоростью 300 000 *км* въ секунду. Несмотря, однако, на такой оборотъ дѣла, никто не могъ оспаривать у Ремера чести перваго открытія скорости свѣта.

Рис. 272



Затменія спутниковъ Юпитера. (видъ съ земли).

Уже въ 1675 году Ремеръ пріобрѣлъ своими работами такую извѣстность, что ему предложили каѳедру въ Копенгагенскомъ университетѣ. Но онъ переѣхалъ въ Копенгагенъ только въ 1681 г., послѣ уничтоженія Нантскаго Эдикта; здѣсь онъ работалъ очень много какъ въ области науки, такъ и въ области административной. Онъ былъ сдѣланъ членомъ Верховнаго Суда и начальникомъ полиціи въ Копенгагенѣ. Ему принадлежитъ заслуга введенія общихъ мѣры и вѣса во всей странѣ, улучшенія дорогъ и сношеній, освѣщенія улицъ и организаціи пожарнаго дѣла въ Копенгагенѣ, въ монетномъ и податномъ дѣлѣ и во введеніи григоріанскаго календаря (§ 19), послѣдовавшемъ въ 1600 г. Несмотря на эту многостороннюю дѣятельность въ административной сферѣ, Ремеръ находилъ время и для астрономическихъ наблюденій, которыя онъ производилъ частью на Круглой Башнѣ, частью на своей собственной обсерваторіи при загородномъ домѣ. При этомъ Ремеръ обладалъ необыкновенной изобрѣтательностью. Послѣ его смерти въ 1710 г. въ обсерваторіи было найдено 54 инструмента, изобрѣтенныхъ и отчасти построенныхъ имъ самимъ, такъ что его назвали даже сѣвернымъ Архимедомъ. Онъ изоб-

http://mathesis.ru

рѣлъ бо̀льшую часть типичныхъ формъ астрономическихъ инструментовъ, употребляющихся еще и теперь. Ремеръ умѣлъ такъ хорошо пользоваться этими инструментами и пользовался ими такъ прилежно, что его въ этомъ отношеніи можно назвать достойнымъ преемникомъ Тихо Браге. Онъ оставилъ послѣ себя массу превосходныхъ наблюденій, предназначавшихся по преимуществу для нахожденія параллакса неподвижныхъ звѣздъ (см. § 70). Какъ и Браге, Ремеръ не успѣлъ заняться обработкой своего громаднаго наблюдательнаго матеріала, хотя онъ имѣлъ великолѣпнаго помощника, какъ Тихо имѣлъ Кеплера. Этимъ помощникомъ былъ Петръ Горребовъ, родившійся въ 1679 г. въ Лёкстёрѣ (Ютландія), въ семьѣ одного бѣднаго рыбака. Съ 1703 года онъ изучалъ въ Копенгагенѣ богословіе и медицину и познакомился съ Оле Ремеромъ, который преподавалъ ему математику и физику. Горребовъ помогалъ Ремеру въ астрономическихъ наблюденіяхъ, которыя продолжалъ и послѣ его смерти. Къ сожалѣнію, его рукописи погибли во время большого пожара въ 1728 г. Горребовъ бѣжалъ изъ своего дома на обсерваторіи. Но когда онъ увидѣлъ, что вѣтеръ поворачиваетъ, такъ что опасность угрожаетъ обсерваторіи, то онъ сложилъ работы свои и Ремера въ два ящика и пытался обезопасить ихъ, что, однако, ему не удалось. Только ничтожная часть наблюденій Ремера была спасена и позднѣе обработана нѣсколькими астрономами, главнымъ образомъ Галле изъ Берлина (1845).—Горребовъ умеръ въ 1764 году.

Нельзя, конечно, удивляться, что правильность опредѣленія скорости свѣта, сдѣланнаго Ремеромъ, не разъ подвергалась сомнѣнію, такъ какъ движеніе спутниковъ Юпитера представляетъ крайне сложное явленіе,—здѣсь дѣйствуетъ одновременно много вліяній.

284. Совершенно иной путь опредѣленія скорости свѣта избралъ Джэмсъ Брадлей. Брадлей родился въ 1692 г., изучалъ въ Оксфордѣ богословіе и въ 1719 году сталъ діакономъ въ Ванстэдѣ. Здѣсь онъ началъ заниматься математикой и астрономіей и сдѣлалъ въ этихъ наукахъ такіе успѣхи, что въ 1721 г. былъ приглашенъ въ Оксфордъ въ качествѣ профессора астрономіи; впрочемъ, здѣсь у него не было сколько-нибудь значительныхъ вспомогательныхъ средствъ.

Уже Коперникъ пытался доказать существованіе параллакса неподвижныхъ звѣздъ, т. е. годичное смѣщеніе ихъ вслѣдствіе движенія земли вокругъ солнца. Но его измѣрительные приборы были слишкомъ неточны для того, чтобы ими можно было доказать такое движеніе. Позднѣе Пикаръ, Флэмстидъ, первый директоръ обсерваторіи въ Гриничѣ, устроенной Карломъ II, и другіе астрономы производили такія наблюденія. Они, правда, наблюдали небольшія измѣненія въ положеніяхъ нѣкоторыхъ звѣздъ, но не поняли ихъ сущности. Быть можетъ, наблюденія Ремера выяснили бы этотъ вопросъ, но къ несчастью они погибли.

Въ это время Брадлею приходилось часто встрѣчаться съ Самюэлемъ Молинё, владѣльцемъ частной обсерваторіи въ Кью, снабженной хорошими инструментами. Молинё заказалъ инструментъ для измѣренія зенитныхъ разстояній (зенитальный секторъ), на которомъ можно было отсчитывать углы съ точностью до одной секунды. Съ этимъ инструментомъ Молинё въ 1725 г. началъ наблюденія звѣзды γ въ созвѣздіи Дракона, въ которыхъ принялъ участіе также Брадлей и которыя продолжались цѣлый годъ. Оказалось, что эта звѣзда впродолженіе года описываетъ

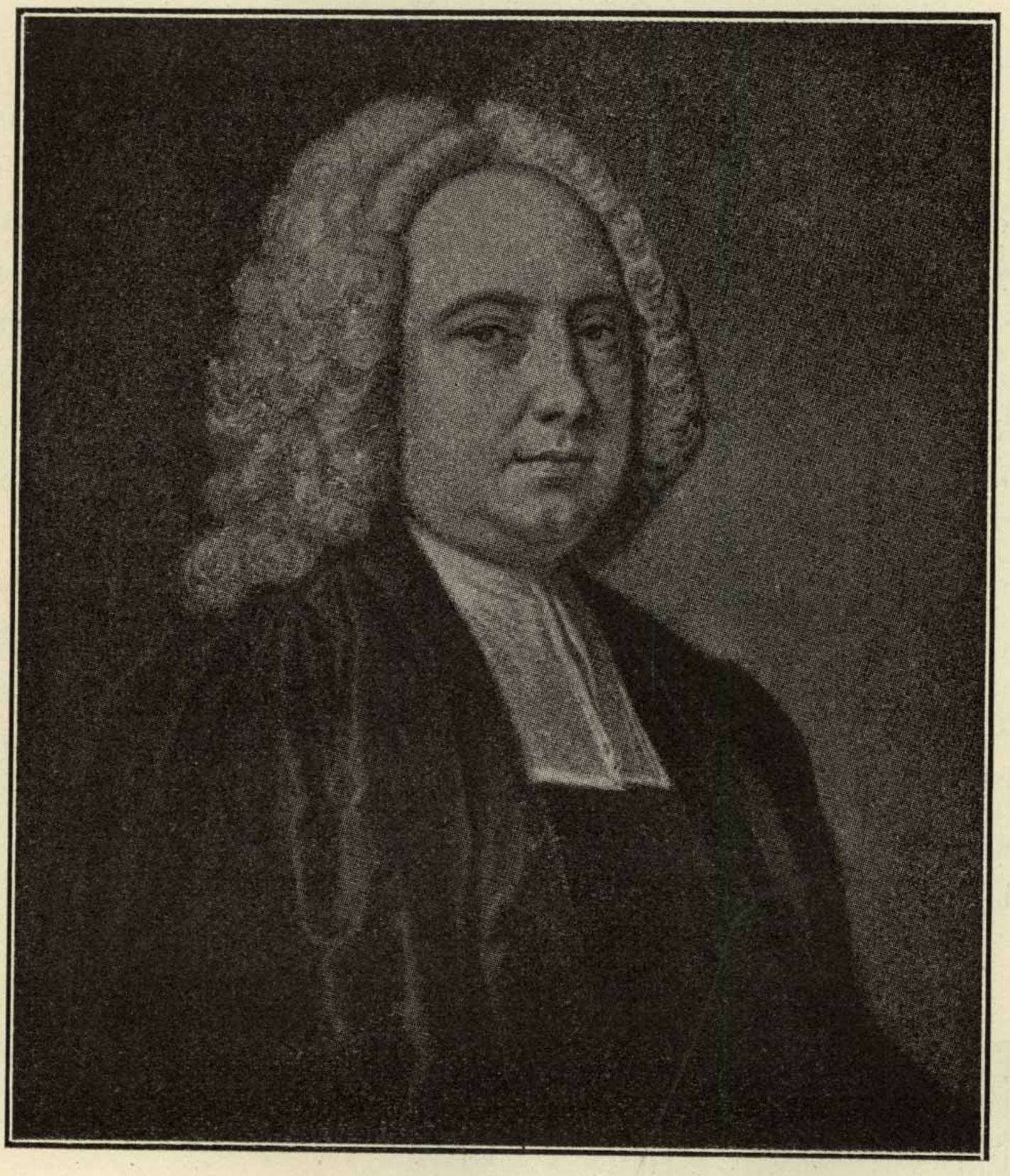
http://mathesis.ru

небольшой путь, притомъ, однако, такой, какого не могла описывать вслѣдствіе параллакса.

По смерти Молинё въ 1728 г. Брадлей продолжалъ эти наблюденія при помощи новаго инструмента, который былъ установленъ для него у его дяди въ Ванстэдѣ. Онъ нашелъ, что и другія звѣзды впродолженіе года описываютъ аналогичные небольшіе пути. Очевидно, причину этихъ движеній нужно было искать въ годовомъ движеніи земли.

Переѣзжая однажды черезъ Темзу, Брадлей обратилъ вниманіе на то, что въ то время, когда лодка двигалась, вѣтеръ шелъ какъ будто по иному направленію,

Рис. 273



Джэмсъ Брадлей.

чѣмъ это было на самомъ дѣлѣ. Это наблюденіе, вѣроятно, и дало основаніе Брадлею объяснить упомянутое кажущееся движеніе неподвижныхъ звѣздъ аналогичнымъ явленіемъ,—такъ называемой аберраціей свѣта. Въ 1728 г. онъ сообщилъ о своемъ открытіи тогдашнему Королевскому астроному въ Гриничѣ Эдмунду Галлею, а Галлей тотчасъ же опубликовалъ письмо Брадлея въ изданіяхъ Королевскаго общества.—По смерти Галлея въ 1742 году Брадлей сталъ его преемникомъ. Въ званіи Королевскаго астронома онъ и работалъ до самой своей смерти (1762).

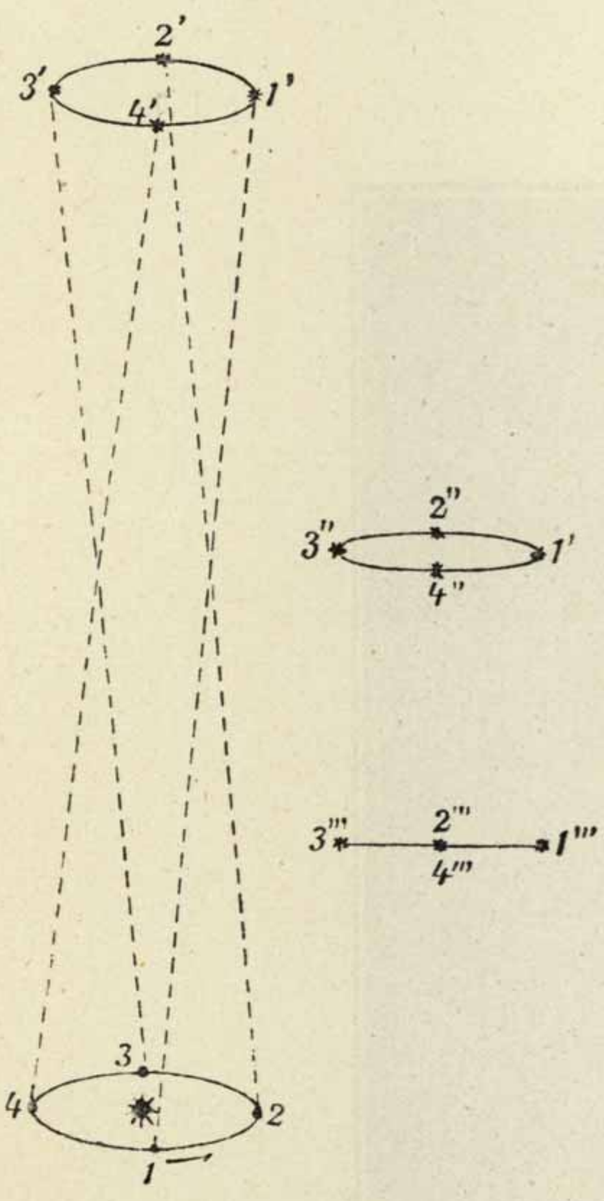
Пусть 1, 2, 3, 4 (рис. 274) будетъ орбита земли. Продолженная во всѣ стороны плоскость земной орбиты представляетъ эклиптику. Звѣзда, находящаяся на пер-

http://mathesis.ru

пендикулярѣ къ ней въ полюсѣ эклиптики, описываетъ, какъ нашелъ Брадлей, небольшой кругъ 1′ 2′ 3′ 4′ съ поперечникомъ въ 40″, что приблизительно соотвѣтствуетъ $^1/_{45}$ части видимаго поперечника солнца. Звѣзда движется по этому пути въ томъ же направленіи, въ какомъ земля движется по своему, но удивительно, что она идетъ впереди движенія земли на четверть года.

Звѣзда между эклиптикой и полюсомъ эклиптики движется по эллиптическому пути 1″ 2″ 3″ 4″, большая ось котораго параллельна эклиптикѣ и также равна 40″, а малая ось тѣмъ меньше, чѣмъ ближе звѣзда къ эклиптикѣ. Звѣзда въ самой эклиптикѣ движется по прямой линіи въ эклиптикѣ 1‴ 2‴ 3‴ 4‴ то въ ту, то въ другую сторону.

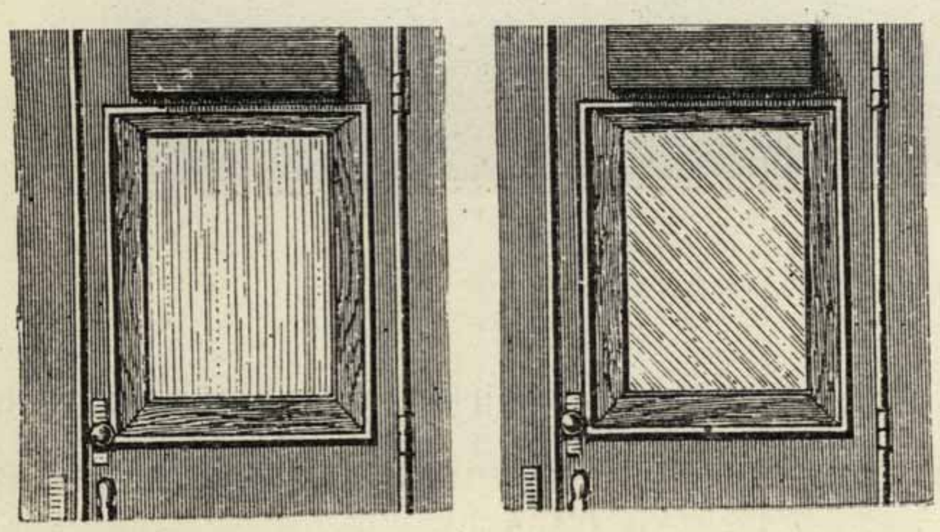
Рис. 274



Аберрація свѣта.

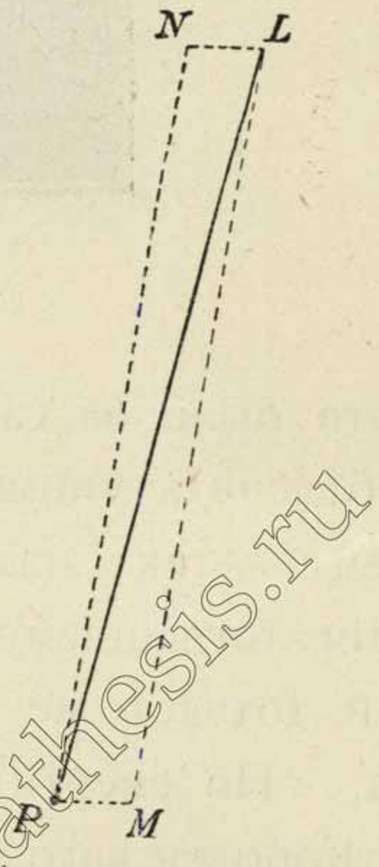
Объясненіе Брадлея исходило изъ того, что здѣсь есть два движенія; это бываетъ также, когда отвѣсно падающія капли дождя попадаютъ на окно движущагося желѣзнодорожнаго вагона (рис. 275). Свѣтъ движется, земля также. Пусть направленіе и скорость свѣтового луча даются линіей LM (рис. 276). Пусть за то же время земля переходитъ изъ P въ M. Въ такомъ случаѣ результатъ будетъ такой, какъ еслибы земля стояла неподвижно, а лучъ свѣта кромѣ своего собственнаго движенія имѣлъ бы еще движеніе, противоположное движенію земли (LN). Эти два движенія LM и LN соединяются въ движеніе LP (ср. § 147). Слѣдовательно, если земля движется перпендикулярно къ направленію свѣтового луча, то свѣтовой лучъ войдетъ въ глазъ или въ зрительную трубу такъ, какъ будто звѣзда смѣстилась въ томъ же направленіи, въ которомъ движется земля. Только въ томъ случаѣ, когда земля движется въ направленіи луча (2‴) или въ противоположномъ (4‴), звѣзда кажется тамъ, гдѣ она дѣйствительно находится (точно такъ же, какъ направленіе вѣтра не измѣняется для насъ, если мы идемъ по вѣтру или прямо противъ вѣтра).

Рис. 275



Слѣды дождевыхъ капель на окнѣ желѣзнодорожнаго вагона.

Рис. 276



Аберрація свѣта.

Это смѣщеніе, аберрація, очевидно, не зависитъ отъ разстоянія звѣзды. Она опредѣляется только скоростью свѣта и скоростью земли.

http://mathesis.ru

Наибольшая величина этого смѣщенія составляетъ 20″ или $^1/_{180}$ градуса, а такъ какъ градусъ составляетъ приблизительно $^1/_{60}$ радіуса, то 20″ соотвѣтствуютъ приблизительно смѣщенію въ $^1/_{10000}$ радіуса. Другими словами, PM (рис. 276) составляетъ приблизительно $^1/_{10000}$ разстоянія LM или скорость свѣта LM приблизительно въ 10000 разъ больше скорости земли PM. Послѣдняя составляетъ около 4 миль въ секунду. Такимъ образомъ, скорость свѣта составляетъ 40000 миль или 300000 *км* въ секунду. Этотъ результатъ является прекраснымъ подтвержденіемъ открытія Ремера и въ то же время первымъ дѣйствительнымъ доказательствомъ движенія земли вокругъ солнца.

285. Брадлей уже въ 1727 году замѣтилъ другое измѣненіе положеній звѣздъ, но, только ставъ Королевскимъ астрономомъ въ Гриничѣ, онъ могъ глубже изслѣдовать это явленіе и опубликовать результаты своихъ наблюденій въ 1748 г. Именно, онъ показалъ, что неподвижныя звѣзды описываютъ также небольшую видимую орбиту въ періодъ 18·6 лѣтъ. Поперечникъ этой орбиты имѣетъ отъ 14″ до 19″ и изъ положенія этого пути Брадлей вывелъ заключеніе, что земная ось, кромѣ большого круга, который она описываетъ вокругъ полюса эклиптики въ 26000 лѣтъ (§ 44), описываетъ также малый кругъ въ 18 лѣтъ, такъ что дѣйствительное движеніе ея представляетъ нѣкоторую волнообразную линію. Это второе движеніе оси получило названіе нутаціи.

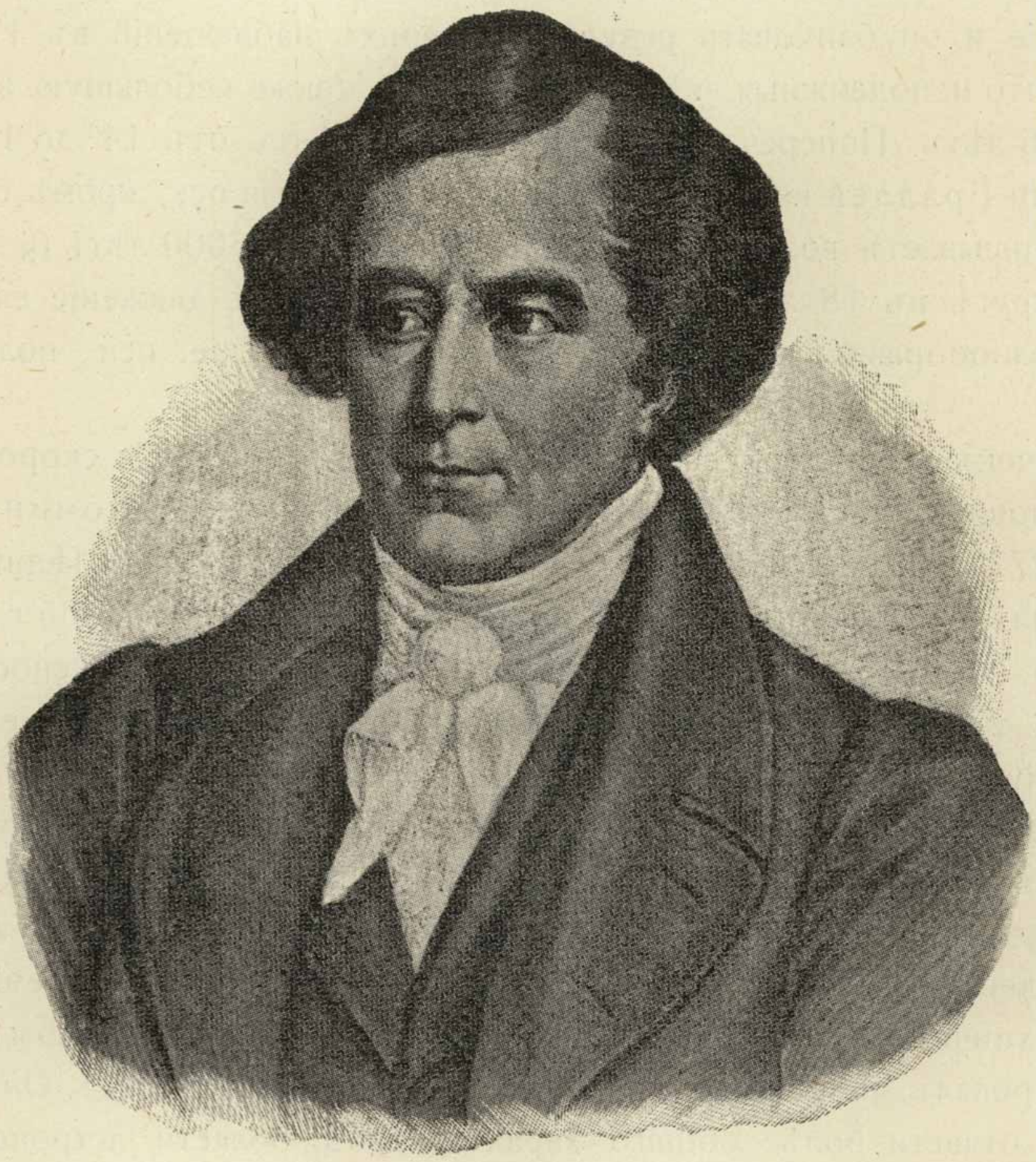
286. Толчекъ къ изобрѣтенію третьяго способа измѣренія скорости свѣта, равно какъ и основную идею способа выполненія этого, далъ Доминикъ Франсуа Араго (рис. 277). Онъ родился въ 1786 г. въ Эстажелѣ близъ Перпиньяна, а образованіе получилъ въ Политехнической школѣ въ Парижѣ. Въ 1805 г. онъ отправился въ Испанію, чтобы тамъ, вмѣстѣ съ Біо, продолжить градусное измѣреніе до Форментеры (§ 278). Во время возстанія испанцевъ противъ Наполеона онъ былъ арестованъ. Ему удалось бѣжать въ Алжиръ, но на пути въ Марсель онъ былъ снова захваченъ испанскимъ крейсеромъ. Когда затѣмъ онъ былъ освобожденъ и снова приближался къ Марсели, буря отбросила его къ Сардиніи. Отсюда Араго снова попалъ въ Алжиръ, долженъ былъ служить здѣсь толмачемъ и только въ 1809 г. былъ снова освобожденъ. Вскорѣ затѣмъ онъ былъ сдѣланъ членомъ Академіи и преподавателемъ Политехнической школы. Вмѣстѣ съ химикомъ Гэ-Люссакомъ (1778—1850) Араго редактировалъ знаменитые „Annales de physique et de chimie“. Онъ опубликовалъ много работъ, отчасти болѣе общаго характера изъ области астрономіи и физики, отчасти біографіи великихъ людей и описанія ихъ дѣятельности. Араго одинаково цѣнили, какъ выдающагося естествоиспытателя и какъ популярнаго писателя и оратора. Въ 1830 г. онъ сталъ директоромъ Парижской обсерваторіи и получилъ множество почетныхъ отличій отъ городовъ и ученыхъ обществъ.—Араго принималъ также дѣятельное участіе въ политикѣ. Какъ членъ палаты депутатовъ, онъ всегда былъ представителемъ свободныхъ взглядовъ и былъ для противниковъ опаснымъ ораторомъ. Въ значительной степени благодаря ему былъ положенъ конецъ кровопролитію во время іюльской революціи 1830 г. Когда правительство послѣ усмиренія іюньскаго возстанія 1832 г. собиралось окружить Парижъ отдѣльными фортами, Араго указалъ на ту громадную опасность, какую это представляло для народнаго мира, и потому правительство оставило свой планъ. Когда изъ-за участія политехниковъ въ возстаніи Политехническая школа была подчинена военному министерству, Араго сложилъ съ се-

http://mathesis.ru

бя профессуру.—Во время февральской революціи 1848 года Араго былъ членомъ временнаго правительства, а позднѣе исполнительнаго комитета. Онъ былъ противъ избранія Наполеона въ президенты и не побоялся послѣ государственнаго переворота поднять голосъ за изгнанныхъ. Араго умеръ въ 1853 году. Такъ какъ въ послѣдніе годы своей жизни Араго почти ослѣпъ, онъ не могъ самъ выполнить свой планъ измѣренія скорости свѣта. Этотъ планъ былъ выполненъ различными способами Физо и Фуко.

287. Ипполитъ Луи Физо, родившійся въ Парижѣ въ 1819 г., умершій въ 1896 г., опредѣлялъ время, которое свѣтъ употреблялъ на прохожденіе пути отъ

Рис. 277



Доминикъ Франсуа Араго.

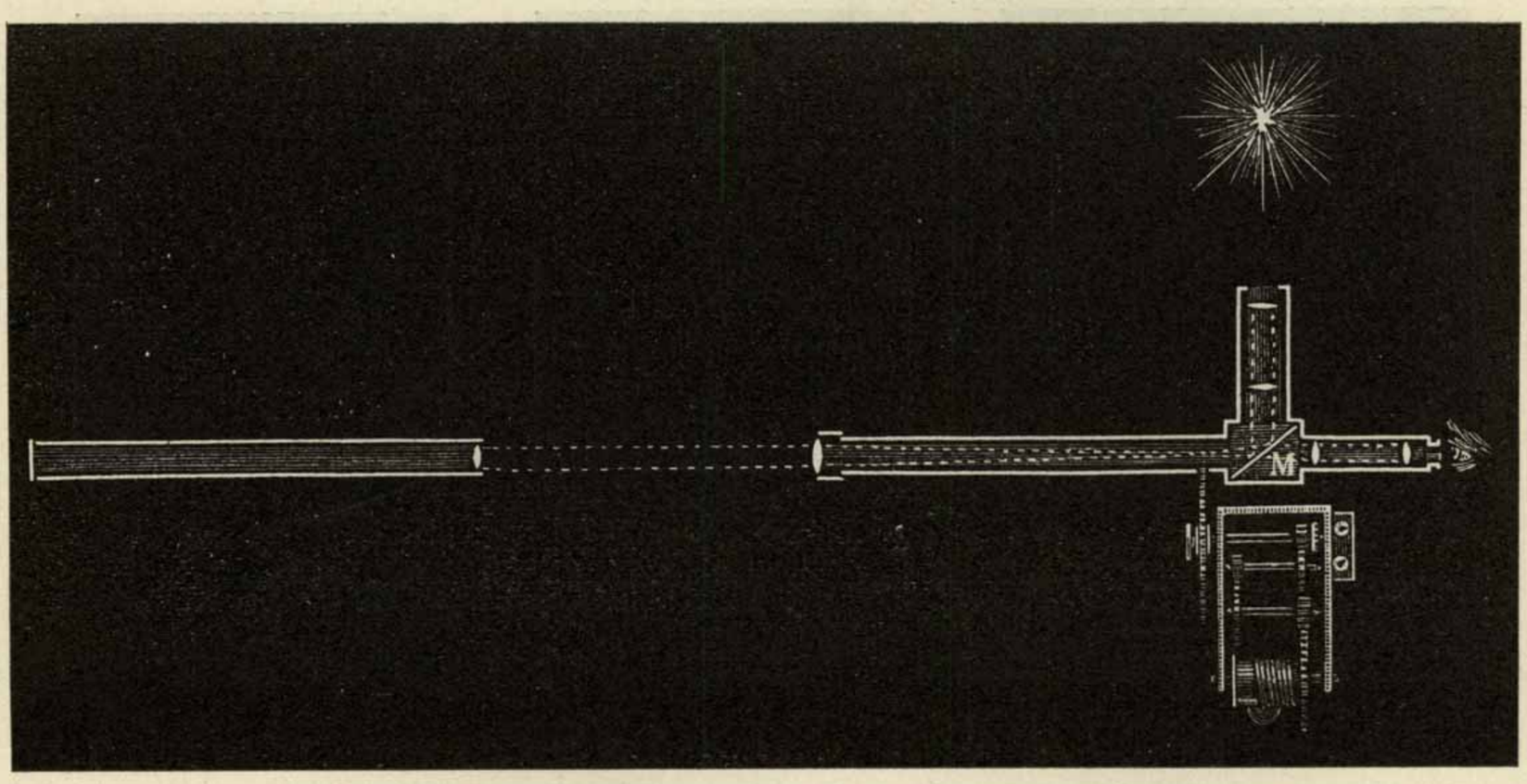
Сюрена до Монмартра (8633 *м*) и обратно. Это разстояніе имѣло, слѣдовательно, приблизительно ту же длину, какъ и разстояніе въ опытѣ Accademia del Cimento (§ 282). Но Физо такъ расположилъ опытъ, что посыланіе и обратное отсыланіе свѣта происходило автоматически, а для опредѣленія этого времени служилъ въ высшей степени остроумный приборъ, соединенный со зрительной трубой.

Для этого опыта служилъ приборъ, изображенный на рис. 278. Правая сторона рисунка представляетъ ту часть прибора, которая была установлена въ Сюренѣ, а лѣвая часть—въ Парижѣ (видъ сверху). Первая часть состояла изъ зрительной трубы, въ которую можно было смотрѣть по направленію къ Парижу. Къ зрительной трубѣ была придѣлана боковая трубка, черезъ которую въ зрительную трубу

http://mathesis.ru

попадали лучи сильнаго источника свѣта. Здѣсь они падали на стеклянную пластинку *M*, которая отражала лучи по направленію къ Парижу, хотя не была покрыта оловянною фольгой. Затѣмъ черезъ собирательное стекло лучи проходили въ трубку, которая на другомъ концѣ была закрыта зеркаломъ, перпендикулярнымъ къ оси трубки. До установки здѣсь зеркала на его мѣстѣ находился окуляръ, при помощи котораго можно было правильно установить трубку. По отраженіи отъ зеркала, которое устанавливалось въ фокусѣ линзы, лучи выходили изъ линзы параллельнымъ пучкомъ, такъ что возвращались въ Сюренъ почти не ослабленными. Здѣсь они

Рис. 278



Опредѣленіе скорости свѣта Физо.

вступали въ зрительную трубу и попадали въ глазъ, не испытывая сколько-нибудь замѣтнаго ослабленія отъ стекла *M*. Такимъ образомъ, въ трубѣ можно было видѣть свѣтъ, зажигаемый самимъ наблюдателемъ. По другую сторону зрительной трубы (на рисункѣ внизу) находился часовой механизмъ съ быстро движущимся зубчатымъ колесомъ, проходившимъ сквозь прорѣзъ, сдѣланный въ зрительной трубѣ въ томъ мѣстѣ, гдѣ находился общій фокусъ объекта и окуляра. Такимъ образомъ, глядя въ зрительную трубу, можно было видѣть эти зубцы, и если колесо стояло неподвижно, а на средину поля приходился промежутокъ между зубцами, то въ этотъ промежутокъ можно было видѣть возвращенный изъ Парижа свѣтъ (рис. 279, 1).

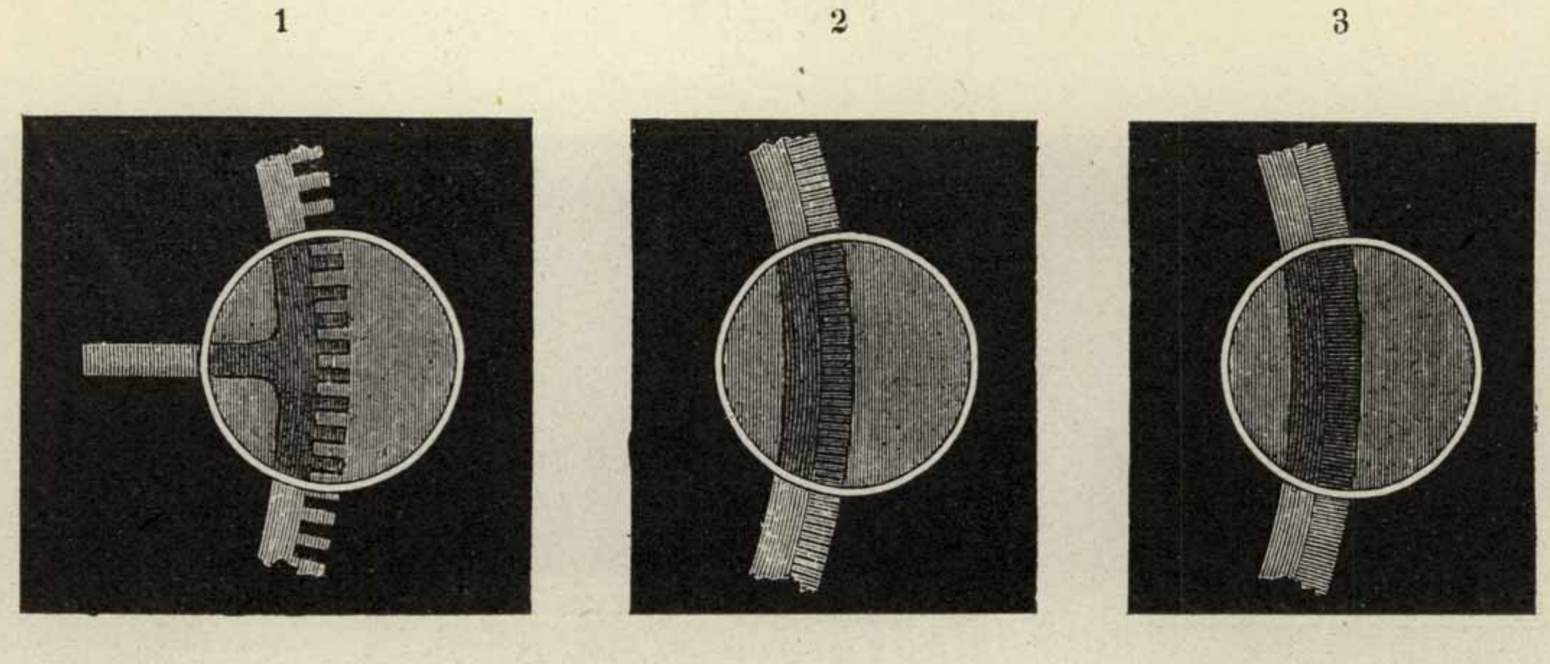
Если теперь пустить въ ходъ часовой механизмъ, однако, не слишкомъ скоро, то зубцовъ уже нельзя будетъ видѣть отдѣльно, но свѣтъ будетъ еще видимъ (рис. 279, 2). Пройдя черезъ промежутокъ между зубцами, свѣтъ снова возвращается черезъ этотъ же промежутокъ, если онъ за короткое время, употребленное свѣтомъ на прохожденіе туда и обратно, не передвинется много. Но, ускоривъ ходъ часового механизма, можно достичь того, что свѣтъ исчезнетъ. Это наступитъ тогда, когда скорость станетъ настолько большой, что свѣтъ, вышедшій черезъ какой-нибудь промежутокъ между зубцами, по возвращеніи встрѣтитъ зубецъ, такъ что не сможетъ идти дальше и попасть въ глазъ. При вдвое большей скорости колеса свѣтъ снова будетъ видимъ, такъ какъ теперь, за время отъ выхода луча до его возвращенія послѣ отраженія, на мѣсто промежутка между зубцами, сквозь который лучи вышли,

http://mathesis.ru

успѣлъ стать слѣдующій промежутокъ между зубцами. При утроенной скорости свѣтъ снова исчезнетъ, при учетверенной снова появится и т. д.

Въ опытахъ Физо свѣтъ исчезалъ въ первый разъ, когда зубчатое колесо совершало 12·67 оборотовъ въ секунду. Это колесо имѣло 720 зубцовъ. Время, впродолженіе котораго на мѣсто зубца помѣщался ближайшій промежутокъ, составляло, слѣдовательно, $^1/_2 \times {}^1/_{720} \times {}^1/_{12\cdot67} = {}^1/_{18244}$ секунды. За это время свѣтъ проходилъ 17266 *м*. Такимъ образомъ въ одну секунду онъ долженъ проходить 18244 × 17266 *м* или 315000 *км* (приблизительно 42000 миль).

Рис. 279



Зубчатое колесо Физо въ полѣ зрѣнія трубы.

Въ 1873 г. этотъ опытъ былъ повторенъ Корню, внесшимъ много улучшеній въ измѣренія, на разстояніи 10310 *м*. Онъ получилъ 298500 *км* въ секунду. Въ 1875 г. опытъ былъ повторенъ вблизи Парижа еще разъ на разстояніи 23000 *м*., причемъ было получено 300400 *км* или приблизительно 40000 миль въ секунду.

288. Три опредѣленія скорости свѣта Ремера, Брадлея и Физо такъ различны между собою по своей основной идеѣ и по способу выполненія, что едвали возможно сомнѣваться въ справедливости ихъ согласныхъ результатовъ. Къ этому прибавляется еще одинъ способъ, который позволяетъ также опредѣлить скорость свѣта въ водѣ. Араго указывалъ, что послѣдняя скорость имѣетъ огромное значеніе для вопроса о природѣ свѣта. Это измѣреніе было произведено въ 1850 г. Физо и Фуко. Послѣдній повторилъ затѣмъ свои измѣренія въ нѣсколько измѣненной формѣ.

Леонъ Фуко родился въ 1819 г. въ Парижѣ. Онъ изучалъ медицину, но также очень интересовался чисто физическими вопросами. Ему принадлежитъ много хорошихъ работъ въ области оптики, напримѣръ, сооруженіе вогнутыхъ зеркалъ для телескоповъ. Особенно прославился Фуко своимъ доказательствомъ вращенія земли. Онъ умеръ въ 1868 г.

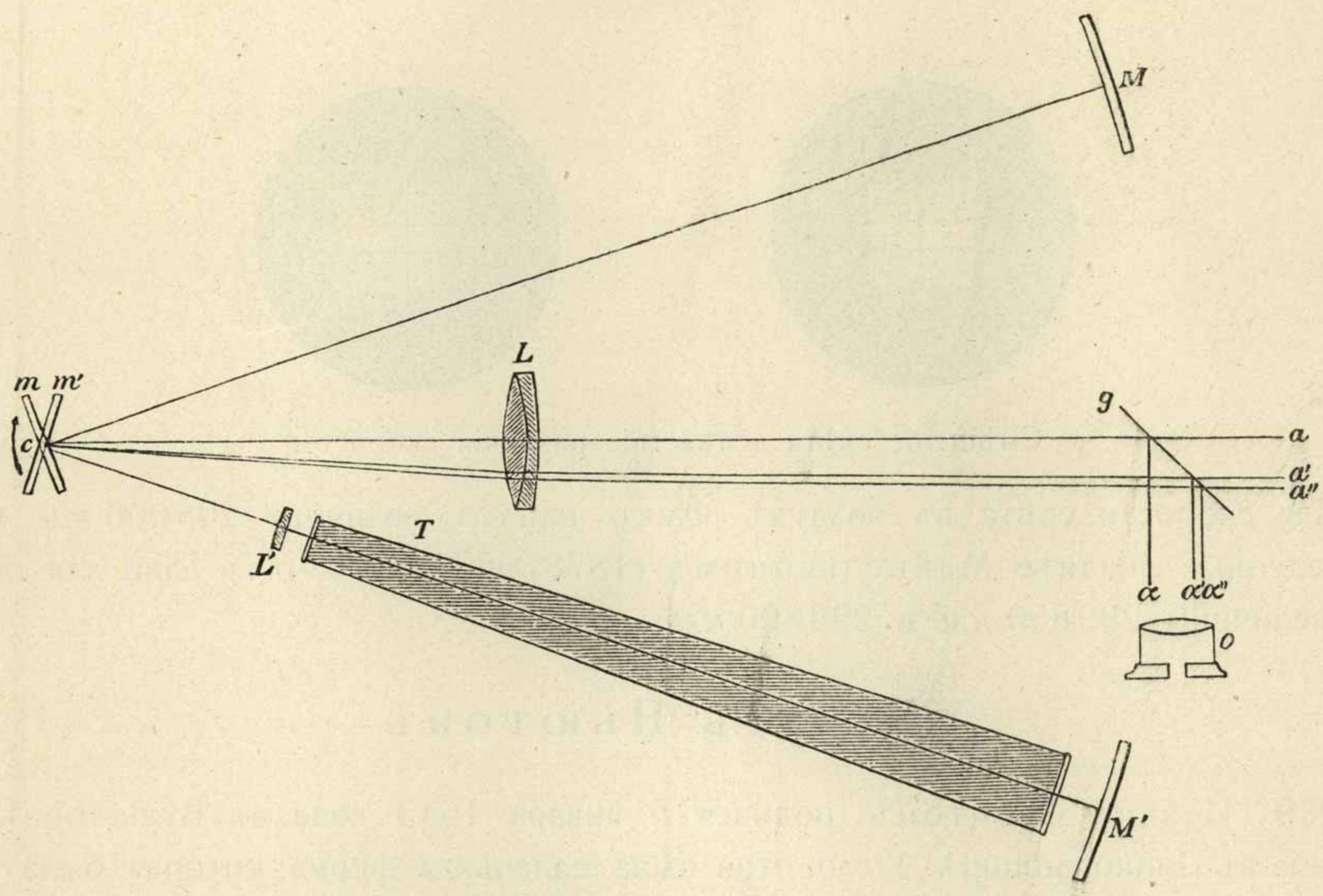
Его опытъ для опредѣленія скорости свѣта былъ произведенъ въ комнатѣ, такъ что свѣтъ проходилъ при этомъ всего нѣсколько метровъ. Въ этомъ опытѣ свѣтъ идетъ отъ *a* (рис. 280) сквозь стеклянную пластинку *g* и собирательное стекло *L*, дѣлающее лучи параллельными, къ зеркалу *m*. Это зеркало вращается около вертикальной оси. Въ положеніи *m* оно отбрасываетъ свѣтъ къ вогнутому зеркалу *M*, центръ котораго лежитъ въ точкѣ *c*. Затѣмъ свѣтъ возвращается назадъ къ *m* и идетъ отсюда сквозь *L* къ стеклу *g*. Отъ стекла онъ отражается въ направленіи α черезъ зрительную трубу къ глазу.

http://mathesis.ru

Но когда зеркало m занимаетъ положеніе m', то свѣтъ идетъ сквозь трубку T къ вогнутому зеркалу M' и обратно къ m', отсюда сквозь L къ g, такъ что его можно видѣть также въ направленіи α. Труба T наполнена водою и на обоихъ концахъ закрыта стеклянными пластинками. Когда свѣтъ проходитъ сквозь воду, онъ получаетъ голубовато-зеленую окраску. Но чтобы еще лучше отличать свѣтъ, идущій отъ M, отъ свѣта, идущаго отъ M', зеркало M покрывается непрозрачною пластинкой, имѣющей длинное неширокое отверстіе. Такимъ образомъ, въ зрительную трубу o отъ свѣта, приходящаго отъ M, получается впечатлѣніе рис. 281, 1, отъ свѣта же, идущаго отъ M', впечатлѣніе рис. 281, 2.

Если теперь вращать зеркало $m\,m'$ съ умѣренной скоростью, то, говоря вообще, оно будетъ посылать свѣтъ по направленіямъ, отличнымъ отъ направленій къ M

Рис. 280



Измѣреніе Фуко скорости свѣта въ воздухѣ и въ водѣ.

и M', но иногда также и по этимъ направленіямъ, такъ что глазъ будетъ получать впечатлѣніе вспышекъ, идущихъ отъ M и M'. Если эти вспышки слѣдуютъ другъ за другомъ достаточно быстро, то получится одно слитное впечатлѣніе, рис. 281, 3.

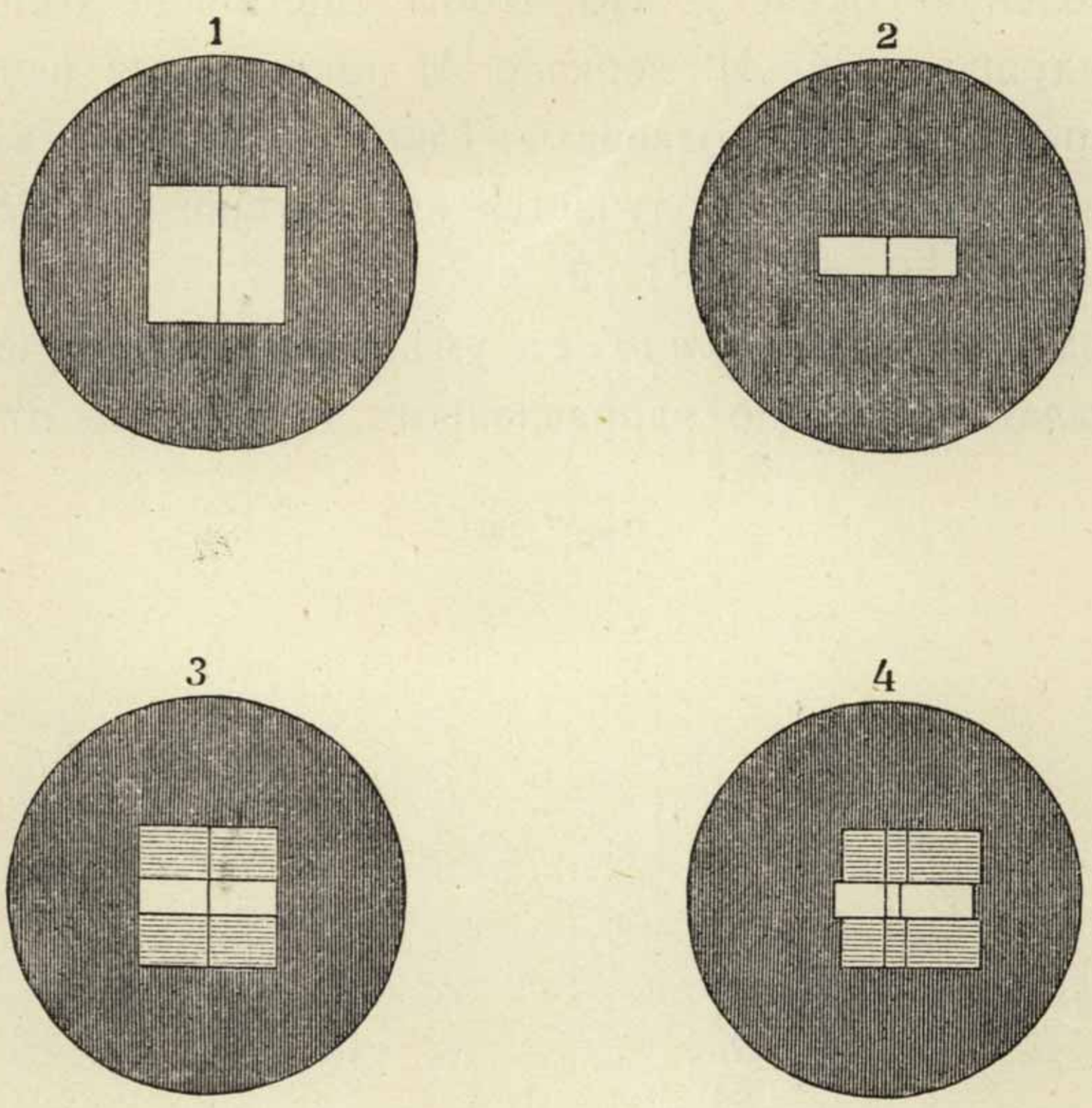
Если, наконецъ, привести зеркало въ очень быстрое вращеніе, то оба эти изображенія смѣстятся вправо, но больше смѣстится то изображеніе, которое получается отъ M'. Пока лучъ свѣта отъ m идетъ къ M и назадъ къ m, это зеркало немного поворачивается и отбрасываетъ теперь лучъ уже не по направленію къ a, а въ направленіи къ a', вслѣдствіе чего изображеніе будетъ видно въ α'. И въ то время, какъ лучъ свѣта идетъ отъ m' сквозь воду къ M' и обратно къ m', зеркало поворачивается настолько, что лучъ отбрасывается въ направленіи a' и наблюдается въ α''. Такимъ образомъ, послѣдній лучъ смѣщается еще сильнѣе, чѣмъ первый, рис. 281, 4.

Итакъ, лучъ, прошедшій сквозь воду, очевидно, замедляется еще больше, чѣмъ лучъ, идущій сквозь воздухъ. Это смѣщеніе можно измѣрить даже тогда, когда толща

http://mathesis.ru

воды не превышаетъ 4 *м* и когда свѣтъ замедляется всего на $^1/_{116\,215\,000}$ секунды. Отсюда получается, что скорость свѣта въ водѣ равна приблизительно $^3/_4$ его скорости въ воздухѣ и, слѣдовательно, составляетъ 30000 миль въ секунду.

Рис. 281



Смѣщеніе свѣта вслѣдствіе различія скоростей.

Для скорости свѣта въ воздухѣ Фуко нашелъ величину 298000 *км*. Опыты, произведенные позднѣе Майкельсономъ (1878) и Ньюкомомъ дали для скорости свѣта величины 299850 *км* и 299800 *км*.

Исаакъ Ньютонъ

289. Исаакъ Ньютонъ родился 5 января 1643 года въ Вульсторпѣ близъ Грэнтгэма въ Линкольнширѣ. У его отца была маленькая ферма, которая была во владѣніи семьи уже болѣе 100 лѣтъ и давала около 30 фунтовъ стерлинговъ (= 300 руб.) годового дохода. Вскорѣ послѣ женитьбы онъ умеръ и молодой Ньютонъ, получившій имя своего отца Исаака, родился такимъ слабымъ ребенкомъ, что сомнѣвались даже, выживетъ ли онъ.

Спустя нѣсколько лѣтъ, его мать, которую описываютъ, какъ необычайно добрую женщину, вышла замужъ во второй разъ за духовное лицо, по имени Смита въ Нортъ-Витгэмѣ, оставивъ сына въ Вульсторпѣ подъ присмотромъ своей матери. По смерти своего второго мужа она вернулась въ 1656 г. съ тремя дѣтьми отъ второго мужа въ Вульсторпъ и отдалась воспитанію дѣтей и управленію своими двумя имѣніями, которыя давали около 80 фунтовъ въ годъ (рис. 282).

Сначала Исаакъ посѣщалъ довольно жалкую сельскую школу, а затѣмъ школу нѣкоего Стокса въ Грэнтгэмѣ. Сначала онъ обнаруживалъ мало охоты къ ученію и мало успѣвалъ. Но затѣмъ въ немъ проснулось честолюбіе и онъ скоро сталъ первымъ въ своемъ классѣ.

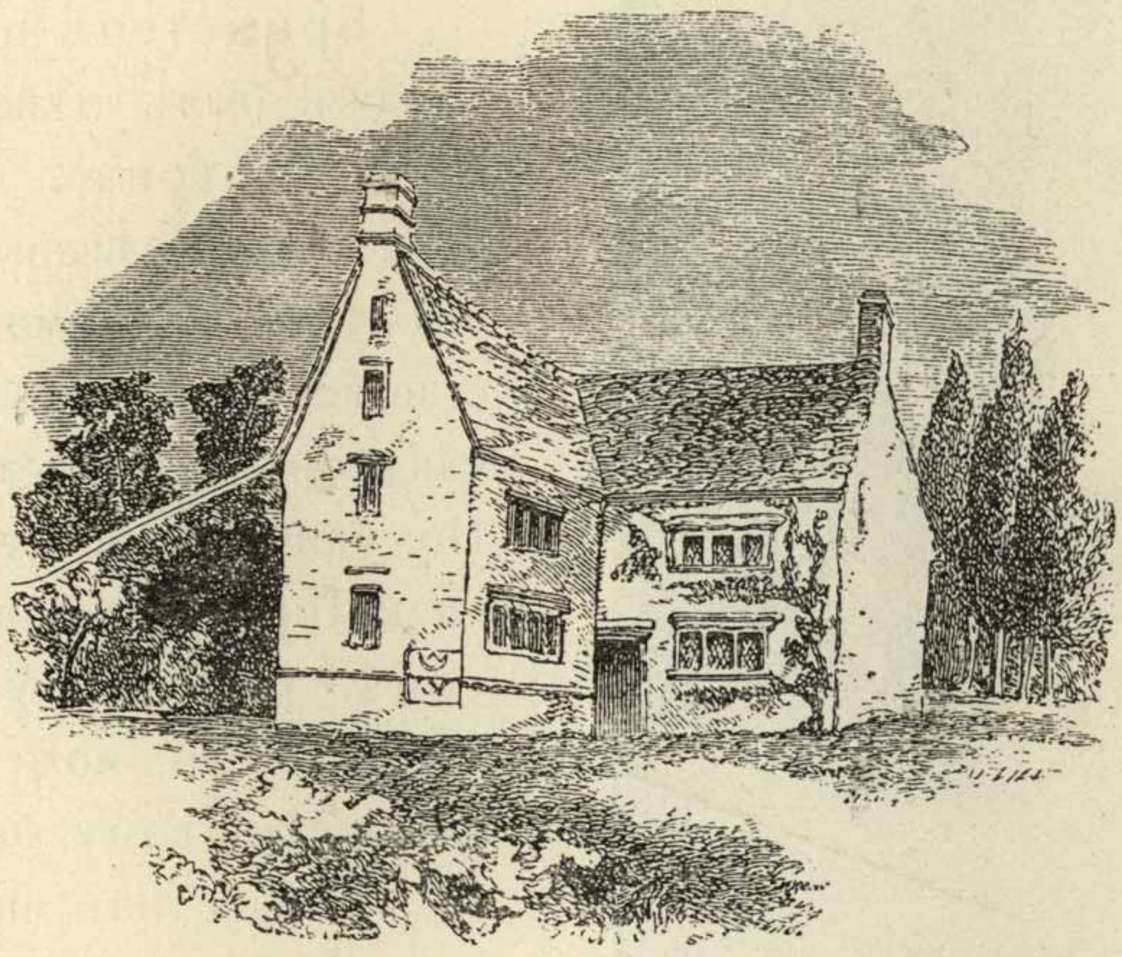
Однако, школьное обученіе, повидимому, мало приходилось ему по душѣ. Зато

http://mathesis.ru

онъ охотно интересовался предметами изъ области естествознанія и механики. Исаакъ изготовлялъ водяные часы, водяныя и вѣтряныя мельнички, воздушные змѣи, которые запускалъ по вечерамъ, прикрѣпивъ фонарь къ хвосту, на удивленіе жителей городка. Онъ изучалъ силу вѣтра, наблюдая — напримѣръ, въ сильную бурю въ день смерти Кромвелля —, какъ далеко онъ можетъ прыгнуть по вѣтру и противъ вѣтра. Онъ дѣлалъ также солнечные часы, сначала представившіе нѣкоторыя трудности, пока онъ не уяснилъ себѣ, какъ они должны быть устроены (§ 41). Такіе солнечные часы Исаакъ устроилъ на стѣнѣ своего родного дома. Впослѣдствіи они были осторожно сняты со стѣны вмѣстѣ съ камнемъ, на которомъ были укрѣплены, и поставлены въ библіотекѣ Royal Society.

Такого рода вещи составляли его любимое занятіе и послѣ того, какъ мать взяла его изъ школы, чтобы онъ помогалъ ей въ управленіи имѣніемъ. Но къ сель-

Рис. 282



Домъ въ Вульсторпѣ, въ которомъ родился Ньютонъ.

скому хозяйству Исаакъ не имѣлъ никакой охоты. По совѣту брата матери, духовнаго лица, было рѣшено снова отдать его въ школу въ Грэнтгэмѣ для подготовленія къ академическимъ занятіямъ. Онъ дѣлалъ такіе успѣхи, что Стоксъ ставилъ его въ достойный подражанія образецъ другимъ ученикамъ, когда въ возрастѣ 18 лѣтъ онъ покинулъ школу для переѣзда въ Кэмбриджъ.

290. Принимая во вниманіе нѣсколько неправильное начальное образованіе, какое получилъ Ньютонъ, нельзя было думать, что при переходѣ въ университетъ онъ окажется по своимъ познаніямъ на одинаковой высотѣ со своими сверстниками. Но, быть можетъ, тѣмъ свѣжѣе были его силы. По поводу этого его біографъ, превосходный шотландскій физикъ Брюстеръ говоритъ: „не истощенный ранней ускоренной выгонкой, а укрѣпленный здоровымъ покоемъ, его духъ былъ тѣмъ способнѣе дать тѣ могучіе ростки, которые скоро должны были покрыть плодородную почву листьями и плодами“ (рис. 283).

Ньютонъ занялся изученіемъ математики, физики и философіи. Но и здѣсь онъ взялся за работу не по школьному. Многое было для него слишкомъ просто, а иное онъ хотѣлъ знать лучше. Математика Евклида, этотъ удивительный экзем-

http://mathesis.ru

пляръ заботливо вышколенной мысли, была для него слишкомъ дѣтской; все здѣсь было понятно само собою и объ этомъ почти не стоило говорить, по крайней мѣрѣ, такъ подробно. Зато онъ нашелъ, что въ математическихъ сочиненіяхъ Декарта содержится нѣчто, надъ чѣмъ можно ломать себѣ голову, и даже безъ надлежащей подготовки онъ, благодаря только собственной энергіи, прошелъ всѣ эти работы. Онъ изучалъ также то, что Валлисъ (§ 178) написалъ о безконечномъ, и оптику Кеплера. Только позднѣе, когда онъ увидѣлъ, что и школьный методъ имѣетъ свою цѣну, что онъ, именно, можетъ позволить всѣмъ — и не геніямъ, — даже можетъ заставить всякаго слѣдить за ходомъ развитія мысли, только тогда пожалѣлъ онъ, что слишкомъ низко цѣнилъ Эвклида, и самъ сталъ пользоваться этими способами, когда передавалъ человѣчеству свои великія открытія.

Рис. 283



Ньютонъ въ молодости.

Брюстеръ пишетъ дальше: „Кэмбриджъ былъ дѣйствительной родиной генія Ньютона... въ стѣнахъ этого города были сдѣланы и разработаны всѣ его открытія“. Само по себѣ это не представляетъ ничего удивительнаго, такъ какъ онъ оставался здѣсь до 1703 года. Но удивительно, что тѣ три открытія, на которыхъ основывается слава Ньютона, повидимому, были сдѣланы уже въ 1666 или, можетъ быть, въ 1667 г., когда Ньютону было всего 24 года.

Первое изъ нихъ — чисто математическое. О немъ мы не можемъ говорить здѣсь подробно. Можно только отмѣтить, что оно между прочимъ даетъ намъ возможность пользоваться при вычисленіяхъ кривыми линіями и ихъ особенностями. Уже въ 1666 г. Ньютонъ набросалъ свое такъ называемое исчисленіе флюкцій — ставшее позднѣе такимъ важнымъ дифференціальное и интегральное исчисленіе, изобрѣтенное одновременно Лейбницемъ. Не говоря объ огромномъ значеніи, которое эта область науки имѣетъ сама по себѣ, она была также необходимымъ орудіемъ мысли, использованнымъ Ньютономъ при многихъ физическихъ открытіяхъ.

291. Второе изъ этихъ великихъ открытій будетъ подробно изложено въ другомъ отдѣлѣ этого сочиненія. Оно привело Ньютона къ убѣжденію, что невозможно изготовлять оптическія стекла, дающія безукоризненное изображеніе. Въ виду этого со зрительной трубой невозможно получить очень сильныя увеличенія безъ того, чтобы въ изображеніи не появились размытые цвѣта. Ньютонъ открылъ, что этой ошибки можно избѣжать, получая изображеніе при помощи точно отшлифованнаго вогнутаго зеркала. А потому онъ принялся за шлифовку металлическихъ зеркалъ для изготовленія отражательныхъ телескоповъ (рефлекторовъ). Незадолго до того такой телескопъ былъ предложенъ Джэмсомъ Грегори (1638—1675) въ Эбердинѣ.

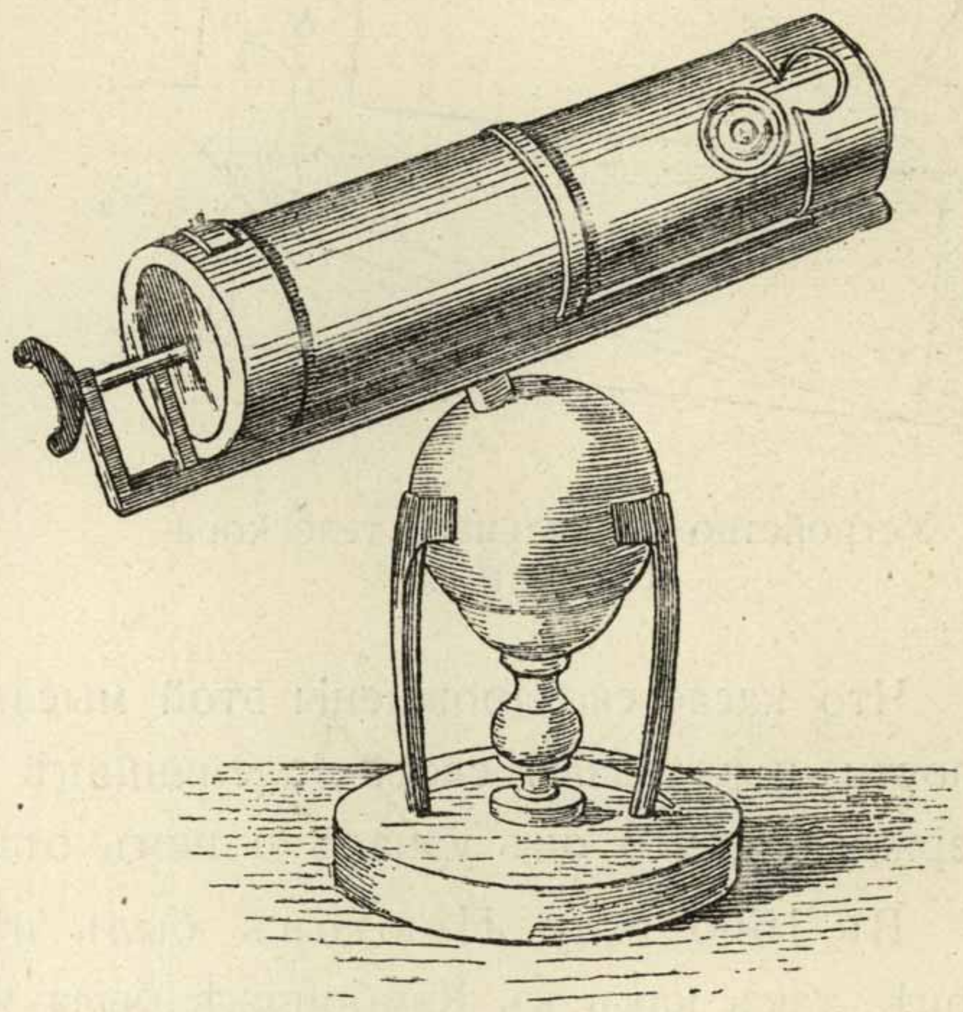
http://mathesis.ru

Грегори также пытался шлифовать нужныя для этого зеркала, но такъ какъ это ему не удалось, то онъ не могъ построить телескопа. Одинъ итальянскій іезуитъ Никола Цукки (1586—1670) и Робертъ Гукъ (§ 166) возились съ планами постройки зеркальнаго телескопа, но и они также не успѣли выполнить этотъ планъ.

Ньютонъ изготовилъ сначала маленькій зеркальный телескопъ, а затѣмъ бо́льшій.—Послѣдній именно и возбудилъ въ Кэмбриджѣ такое удивленіе, что познакомиться съ нимъ захотѣло и Royal Society въ Лондонѣ. Ньютонъ послалъ свой инструментъ въ Лондонъ. Здѣсь инструментъ былъ показанъ королю и изслѣдованъ ученой коммиссіей, которая отозвалась о немъ очень благопріятно. Секретарь общества Ольденбургъ далъ Ньютону совѣтъ послать рисунокъ и описаніе инструмента Гюйгенсу въ Парижъ. Самый инструментъ Ньютонъ подарилъ Королевскому обществу и онъ еще и теперь находится въ библіотекѣ Общества съ надписью: „Изобрѣтенъ сэромъ Исаакомъ Ньютономъ и изготовленъ его руками, 1671“.

Этотъ инструментъ изображенъ на рис. 284, а рис. 285 показываетъ его устройство. Вогнутое зеркало S давало бы дѣйствительное изображеніе предмета a (§ 91), еслибы лучи не встрѣчали по пути маленькаго плоскаго зеркала c, которое даетъ изображеніе въ b, симметричное съ a относительно зеркала c. Это изображеніе разсматривается черезъ увеличительное стекло d.

Рис. 284



Зеркальный телескопъ Ньютона.

292. Уже въ 1669 году Ньютонъ пользовался въ Кэмбриджѣ такимъ уваженіемъ, что ему была передана каѳедра Барроу, когда послѣдній ушелъ въ отставку, чтобы принять одно церковное мѣсто. Съ этого времени Ньютонъ читалъ въ университетѣ лекціи объ оптикѣ. Его телескопъ возбудилъ уваженіе среди членовъ Royal Society и въ 1672 г. онъ самъ былъ избранъ въ члены этого общества.

Въ первое время послѣ своего основанія въ 1645 году это общество вело очень скромное существованіе, хотя въ числѣ его членовъ были такіе выдающіеся люди, какъ Бойль (§ 255), Гукъ (§ 166) и Ренъ (§ 178). Въ 1647 году часть членовъ этого общества переѣхала въ Оксфордъ и здѣсь-то къ нему примкнулъ Бойль, который жилъ въ домѣ аптекаря Кросса, гдѣ происходили собранія общества. Въ 1659 г. общество снова перешло въ Лондонъ, а въ 1662 году Карлъ II сдѣлалъ его королевскимъ учрежденіемъ. Впрочемъ, Общество не получало отъ государства никакой поддержки и потому могло дѣйствовать независимо. Однако, въ первое время выходило, что при избраніи членовъ бо́льшую роль играло ихъ благосостояніе, чѣмъ научныя работы. Но общество могло указать много великихъ именъ въ своей средѣ, а его изданіе, Philosophical Transactions, появляющееся еще и теперь, содержитъ массу въ высшей степени цѣнныхъ работъ, часто даже составлявшихъ эпоху въ наукѣ. Это общество и его изданія остались вѣрными той основной мысли, на которую

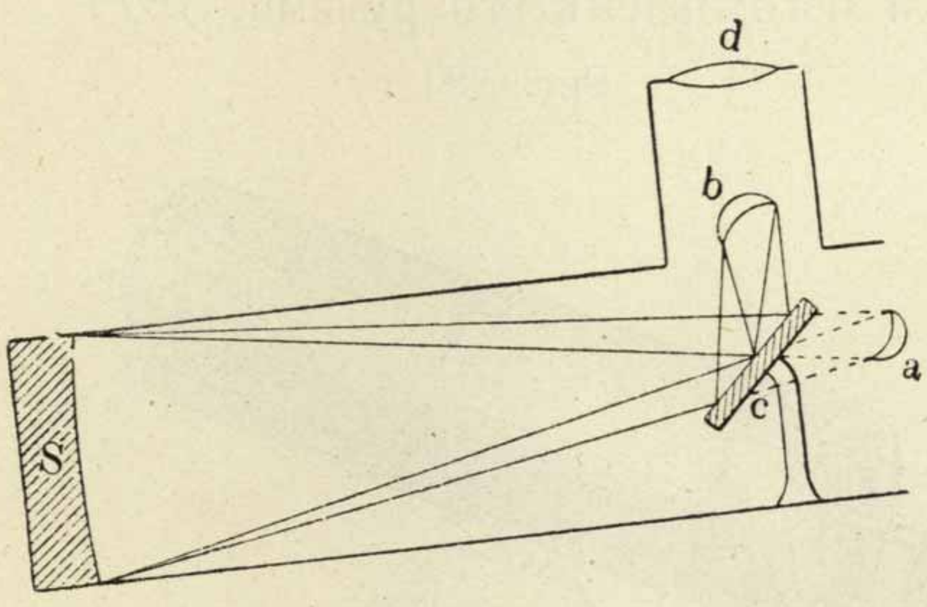
http://mathesis.ru

указывали Галилей и Accademia del Cimento и борцомъ за которую былъ Фрэнсисъ Бэконъ (§ 167). Опыты и факты всегда составляли для него главное, а когда временами, какъ у Ньютона, на первый планъ больше выступала работа мышленія, то здѣсь обращали вниманіе не на безцѣльныя умозрѣнія или недостовѣрныя гипотезы, а на математически строгое объясненіе фактовъ.

Ставъ членомъ этого общества, Ньютонъ тотчасъ сообщилъ ему упомянутое выше открытіе о цвѣтахъ, которое по его мнѣнію было однимъ изъ самыхъ важныхъ открытій, когда-либо сдѣланныхъ въ области естествознанія.

Это сообщеніе было принято обществомъ благопріятно и было напечатано. Но въ теченіе длиннаго ряда годовъ этотъ вопросъ вызывалъ много возраженій, такъ что Ньютону пришлось потратить много времени на защиту своего открытія. Критика иногда такъ раздражала Ньютона, что онъ жалѣлъ объ опубликованіи этого открытія и „пожертвованіи своимъ миромъ“. Несомнѣнно, вслѣдствіе этихъ споровъ при опубликованіи позднѣйшихъ работъ Ньютонъ былъ гораздо осторожнѣе.

Рис. 285



Устройство зеркальнаго телескопа Ньютона.

293. Мы должны заняться здѣсь подробнѣе третьимъ открытіемъ Ньютона, основная идея котораго возникла у него также въ 1666 году, хотя вполнѣ разработалъ и разъяснилъ ее онъ гораздо позднѣе.

Что касается зарожденія этой мысли, то Ньютонъ по этому поводу уже въ старости передавалъ своей племянницѣ слѣдующее. Сообщающій это, Вольтеръ утверждаетъ, что онъ узналъ о немъ отъ самой племянницы.

Въ 1666 году Ньютонъ былъ нѣкоторое время на своей родинѣ въ Вульсторпѣ, такъ какъ въ Кэмбриджѣ была чума. Здѣсь однажды онъ увидѣлъ, какъ съ дерева упало яблоко, и это навело его на вопросъ, не дѣйствуетъ ли та сила, которая производитъ паденіе яблока и вообще паденіе всѣхъ тѣлъ на поверхности земли, также на бо̀льшія розстоянія, даже на разстояніе луны,—не дѣйствуетъ ли она на самое луну. Эта сила дѣйствуетъ одинаково на всевозможныя тѣла, такъ что всѣ они падаютъ одинаково скоро (§ 139), и луна, которая также есть тѣло, должна падать такъ же быстро, какъ и всякое другое тѣло, которое находилось бы на томъ же мѣстѣ.

Падаетъ ли тѣло на большомъ разстояніи такъ же скоро, какъ и тѣло у самой поверхности земли? И сила тяжести такъ же ли велика тамъ, какъ здѣсь? Какъ мы увидимъ ниже, этотъ вопросъ былъ намѣченъ въ то время различными учеными. Ньютонъ предполагалъ, что эта сила,—какъ и дѣйствіе источника свѣта (§ 82)—должна убывать съ разстояніемъ такъ, что уменьшается въ такой же степени, въ какой увеличивается вторая степень (квадратъ) разстоянія.

Если это такъ, то легко вычислить, насколько луна должна падать по направленію къ землѣ въ одну секунду. Въ самомъ дѣлѣ, на поверхности земли тѣло проходитъ при паденіи $4{\cdot}9\ м$ въ одну секунду (§ 149), а такъ какъ разстояніе луны

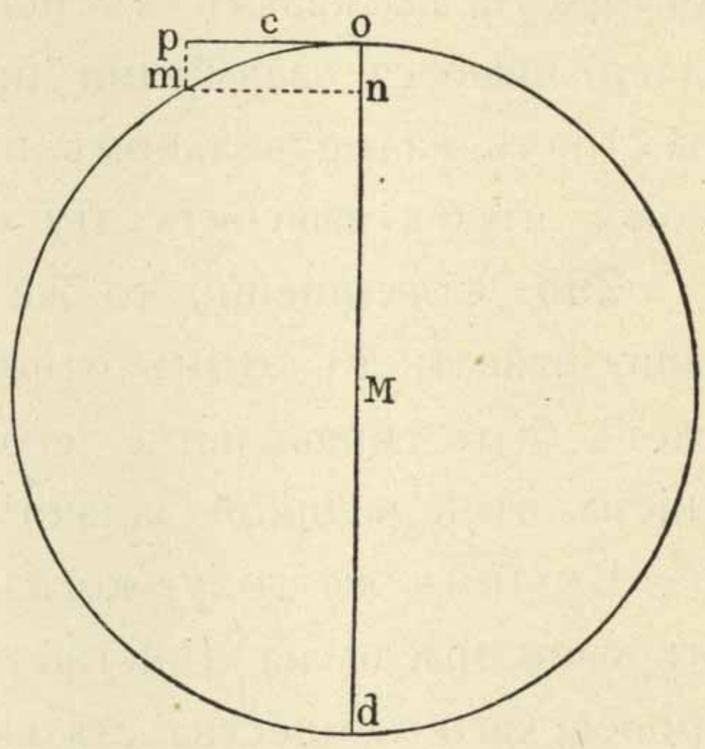
http://mathesis.ru

отъ центра земли равно 60 земнымъ радіусамъ, то луна должна падать на $\frac{49}{60^2}$ или на 0·00136 *м* въ секунду.

Скорость *с* луны (рис. 286) можно легко вычислить, такъ какъ извѣстно, что поперечникъ лунной орбиты равенъ приблизительно 100000 миль, а время обращенія луны составляетъ 27·5 сутокъ. Такимъ образомъ, скорость луны составляетъ 1000 *м* въ секунду.

Согласно закону инерціи (§ 146) при этой скорости луна должна была бы пройти въ одну секунду отъ точки *о* своей орбиты путь $op = 1000$ *м*. Но такъ какъ на самомъ дѣлѣ она приходитъ изъ *о* въ *m*, то, очевидно, она отклоняется отъ направленія *op* на величину $pm = on$. Равенъ ли дѣйствительно этотъ путь тому, который луна должна пройти въ одну секунду при паденіи на землю? Величину *on* легко вычислить (§ 173). Вычисленіе даетъ $on = \frac{om^2}{od} = 0{\cdot}00135$ *м* въ секунду, т. е. дѣйствительно то число, какого слѣдовало ожидать.

Рис. 286



Паденіе луны на землю.

Итакъ, движеніе луны вокругъ земли вполнѣ объясняется закономъ инерціи и предположеніемъ, что луна падаетъ по направленію къ землѣ, какъ и всѣ другія тѣла.

Тѣ два числа, которыя нашелъ Ньютонъ, однако, согласовались другъ съ другомъ не такъ хорошо — они относились одно къ другому, какъ 31:27. Дѣло въ томъ, что при вычисленіи ему пришлось пользоваться менѣе точнымъ значеніемъ величины земли, а, значитъ, и относительнаго разстоянія луны. Конечно, Ньютонъ не удовольствовался такимъ плохимъ согласіемъ между фактами и выводами умозрѣнія. На нѣкоторое время онъ оставилъ этотъ вопросъ и послѣ прекращенія чумы снова взялся за свои работы по оптикѣ.

294. Само собою разумѣется, что открытіе Ньютона, къ которому будто бы привело паденіе яблока, обусловливалось его собственными личными особенностями, а именно, съ одной стороны его геніальностью, а съ другой тѣми вѣяніями, которыя чувствовались тогда въ области естествознанія.

У Ньютона было нѣсколько предшественниковъ. Декартъ (§ 171), вихревая теорія котораго во времена Ньютона еще господствовала въ научномъ мірѣ, въ области физики не принадлежитъ, конечно, къ этимъ предшественникамъ. Но какъ математикъ, онъ несомнѣнно имѣлъ для Ньютона огромное значеніе.

Съ другой стороны, Кеплеръ не только указалъ законы, согласно которымъ движутся небесныя тѣла (§ 73), но сдѣлалъ также попытку объяснить эти движенія. Онъ говоритъ, что еслибы въ небесномъ пространствѣ находилось только двѣ звѣзды, неподчиненныя вліянію какого-нибудь другого тѣла, то онѣ притягивались бы другъ къ другу и наконецъ столкнулись бы. Однако, пытаясь объяснить движеніе планетъ, Кеплеръ не придерживается твердо этой мысли. Во всякомъ случаѣ онъ былъ убѣжденъ, что между солнцемъ и планетами существуетъ какая-то связь, но называетъ эту

http://mathesis.ru

связь магнитнымъ притяженіемъ. При вращеніи около своей оси солнце при помощи этой связи и увлекаетъ планеты.

Выдающійся французскій математикъ Пьеръ Ферма (1608—1665) занимался не только математическими работами, въ которыхъ онъ рѣшалъ нѣкоторыя изъ задачъ, нашедшихъ позднѣе болѣе общее рѣшеніе въ дифференціальномъ исчисленіи; онъ высказалъ также мнѣніе, что тяжесть есть слѣдствіе взаимнаго притяженія тѣлъ. Поэтому, какъ онъ совершенно правильно вывелъ, тяжесть должна уменьшаться съ углубленіемъ въ землю. Въ самомъ дѣлѣ, въ этомъ случаѣ та часть земли, которая находится по одну сторону съ ея центромъ, притягиваетъ тѣло внутрь, напротивъ, та часть, которая находится позади тѣла ближе къ поверхности, тянетъ наружу.

Наконецъ, въ 1666 году Борелли (ср. II, § 17) построилъ теорію спутниковъ Юпитера и высказалъ въ ней мысль, что движенія небесныхъ тѣлъ вызываются и поддерживаются взаимными притяженіями. Борелли былъ физикъ и, какъ физикъ, онъ стоялъ на правильномъ пути, но онъ не былъ въ достаточной степени математикомъ, чтобы выяснить эту связь.

295. Совершенно то же можно сказать о Робертѣ Гукѣ (§ 166), котораго можно назвать въ этомъ отношеніи величайшимъ предшественникомъ Ньютона или, можетъ быть, правильнѣе, его старшимъ сверстникомъ, также работавшимъ надъ рѣшеніемъ этой великой задачи[1]).

Въ томъ же году, когда писалъ Борелли и когда Ньютонъ впервые направилъ свои мысли на дѣйствіе силы тяжести (1666), Гукъ обнародовалъ въ изданіяхъ Королевскаго Общества статью по тому же вопросу.

Чтобы изслѣдовать, мѣняется ли тяжесть съ удаленіемъ отъ центра земли, Гукъ взвѣшивалъ тяжелое тѣло на вершинѣ храма Св. Павла, сначала помѣстивъ тѣло у поверхности земли и соединивъ съ чашкой вѣсовъ длиннымъ шнуромъ, а затѣмъ сложивъ его вмѣстѣ со шнуромъ въ чашку вѣсовъ. Гукъ не нашелъ никакой разницы, какъ не нашелъ никакой разницы, произведя такое взвѣшиваніе на поверхности земли, причемъ тѣло висѣло въ шахтѣ глубиною въ 300 футовъ. Гукъ, однако, допустилъ, что эта разница такъ ничтожна, что ее нельзя обнаружить такими взвѣшиваніями. Поэтому онъ предложилъ сдѣлать опытъ съ маятниковыми часами (ср. § 275). Неизвѣстно, были ли произведены эти опыты.

Спустя нѣсколько мѣсяцевъ Гукъ говоритъ слѣдующее: „Меня часто удивляло, почему планеты, которыя по мнѣнію Коперника движутся вокругъ солнца, не будучи заключены въ какую-нибудь шарообразную чашу и не будучи связаны съ солнцемъ, какъ съ центромъ, какой-нибудь видимою связью, удаляются отъ солнца не дальше опредѣленнаго разстоянія и движутся не по прямой линіи, какъ движутся всѣ тѣла, которыя получаютъ свое движеніе отъ отдѣльнаго толчка. Измѣненіе формы планетныхъ орбитъ изъ прямолинейной въ криволинейную не можетъ быть слѣдствіемъ одного отдѣльнаго толчка, его причиной должно быть еще дѣйствіе какой-то другой силы. Можно вообразить себѣ причину двоякаго рода. Во-первыхъ, удержаніе при центрѣ можетъ быть производимо тѣмъ, что вблизи солнца эѳиръ менѣе

---

[1]) Говоря о заслугахъ этого человѣка, нельзя умолчать о томъ, что существуетъ подозрѣніе, будто нѣсколько разъ чужія открытія, о которыхъ онъ узналъ, онъ выдавалъ за свои собственныя. *Прим. пер.*

http://mathesis.ru

плотенъ, чѣмъ на большемъ разстояніи. Само по себѣ это не невѣроятно, если эѳиръ сходенъ съ воздухомъ, такъ какъ въ такомъ случаѣ въ силу расширенія отъ теплоты вблизи солнца онъ долженъ дѣлаться менѣе плотнымъ. Это допущеніе, однако, имѣетъ такъ много противъ себя и такъ мало соотвѣтствуетъ нашей темѣ, что я предпочитаю отбросить его. Но тогда возможно только предположеніе, что указанное искривленіе производится притягательной силой тѣла, находящагося въ центрѣ движенія и постоянно притягивающаго къ себѣ движущееся тѣло. При этомъ допущеніи возможно объяснить планетныя движенія изъ обычныхъ основныхъ положеній механики и, можетъ быть, оно дастъ намъ средство очень точно вычислять движенія небесныхъ тѣлъ при помощи немногихъ наблюденій".

Однако, Гукъ не пускается въ такія вычисленія, а, какъ физикъ, онъ дѣлаетъ опытъ, который отчасти разъясняетъ этотъ вопросъ. Онъ подвѣшиваетъ на шнурѣ шаръ, отводитъ его слегка отъ вертикальной линіи и даетъ ему боковой толчекъ. Шаръ начинаетъ двигаться около вертикальной линіи; измѣняя величину бокового удара, можно заставить шаръ описывать кругъ или эллипсъ съ центромъ на вертикальной линіи. Гукъ не отрицаетъ, что этотъ опытъ даетъ только поясненіе, а не точное изображеніе планетныхъ движеній. Сила, съ которою шаръ притягивается къ отвѣсной линіи, тѣмъ меньше, чѣмъ ближе онъ подходитъ къ отвѣсной линіи, тогда какъ, напримѣръ, то притяженіе, какое солнце оказываетъ на землю, вблизи солнца должно быть больше. Движеніе планеты, имѣющей спутника, Гукъ наглядно изобразилъ тѣмъ, что прикрѣпилъ къ большому шару при помощи короткаго шнурка меньшій и затѣмъ толчкомъ привелъ въ движеніе оба шара.

Спустя 8 лѣтъ, въ 1674 году Гукъ сдѣлалъ Королевскому Обществу новое сообщеніе о движеніи одной звѣзды въ созвѣздіи Дракона (§ 284) и сообщеніе о слѣдующемъ опытѣ для объясненія строенія вселенной, часто привлекавшее слишкомъ мало вниманія.

„Здѣсь я изложу систему міра, отличающуюся многими особенностями отъ признанной теперь, но во всѣхъ отношеніяхъ соотвѣтствующую обычнымъ законамъ движенія. Она основывается на трехъ допущеніяхъ: во-первыхъ, что всѣ небесныя тѣла притягиваютъ къ своимъ центрамъ и это притяженіе не только мѣшаетъ унестись прочь частямъ этихъ тѣлъ и предметамъ на ихъ поверхности, но распространяется также и на другія небесныя тѣла, лежащія въ кругу ихъ дѣйствія. Такъ, солнце и луна не только оказываютъ вліяніе на землю и на ея движеніе, а земля — на солнце и на луну, но равнымъ образомъ Меркурій, Венера, Марсъ, Юпитеръ и Сатурнъ также оказываютъ своимъ притяженіемъ значительное вліяніе на движеніе земли такъ же, какъ соотвѣтственное притяженіе земли оказываетъ значительное вліяніе на движенія названныхъ планетъ. — Второе допущеніе состоитъ въ томъ, что всякое тѣло, разъ начавъ двигаться прямолинейно, сохраняетъ это прямолинейное движеніе до тѣхъ поръ, пока его не отклонитъ дѣйствіе какой-либо силы, которое заставитъ его описывать кругъ, эллипсъ или другую сложную линію. — Третье допущеніе состоитъ въ томъ, что дѣйствіе притягательной силы тѣмъ больше, чѣмъ ближе находится тѣло, на которое она дѣйствуетъ, къ центру притяженія. Что касается закона этого увеличенія, то я еще не нашелъ его опытами. Но еслибы онъ былъ извѣстенъ такъ, какъ онъ долженъ быть извѣстенъ, то онъ представилъ бы для астрономовъ превосходное вспомогательное средство свести всѣ движенія небесныхъ

http://mathesis.ru

тѣлъ на одинъ законъ, что̀ безъ знанія этого закона никогда не будетъ возможно. Кто понимаетъ круговое движеніе маятника, тотъ признаетъ правильной эту основную мысль и легко увидитъ, въ какомъ направленіи нужно искать въ природѣ, чтобы найти его вѣрную формулу.

Я указываю это вскользь только для того, кто имѣетъ способность и возможность продолжить это изслѣдованіе дальше и у кого нѣтъ недостатка въ прилежаніи къ наблюденіямъ и вычисленіямъ. Я сердечно желаю, чтобы такія лица нашлись, такъ какъ самъ я занятъ другими вещами, которыя нужно кончить раньше“.

296. Что дѣлалъ въ эти годы Ньютонъ для разъясненія устройства вселенной, мы не знаемъ. Въ теченіе ряда лѣтъ послѣ 1666 г. онъ былъ занятъ оптикою и, вѣроятно, также дифференціальнымъ исчисленіемъ, которое впрочемъ должно было стать извѣстнымъ только позднѣе, а его дѣятельность въ этихъ областяхъ, какъ легко себѣ представить, была такъ напряженна, что онъ не могъ въ то же время глубоко сосредоточиваться еще и на другихъ предметахъ. Но, повидимому, его работы о строеніи вселенной не оставались безъ движенія и, быть можетъ, уже въ 70-хъ годахъ у него были въ рукахъ результаты, которые вызвали бы величайшее удивленіе, будь они опубликованы. Помня, однако, о тѣхъ непріятныхъ опытахъ, которые были связаны съ опубликованіемъ его оптики, онъ никому ничего не говорилъ объ этихъ работахъ. Ньютонъ жилъ очень уединенно, встрѣчался лишь съ очень немногими людьми, рѣдко ложился въ постель раньше 2 часовъ, а часто и въ 4 или въ 5 и спалъ очень мало. Онъ опаздывалъ къ обѣдамъ, а когда ему напоминали объ этомъ, онъ, не отрываясь отъ своей работы, глоталъ нѣсколько кусочковъ и забывалъ про остальное. Иногда Ньютонъ не зналъ, ѣлъ онъ или нѣтъ. Случалось, что онъ оставлялъ своихъ гостей, чтобы достать что-нибудь, напримѣръ, вино, но затѣмъ совершенно забывалъ, зачѣмъ онъ пошелъ, и потомъ оказывался за своей работой.

Въ то время какъ онъ велъ такой образъ жизни, въ 1679 г. появилась первая статья его о строеніи вселенной. Гукъ, ставшій за это время секретаремъ Королевскаго Общества, просилъ Ньютона дать какую-нибудь статью для изданія общества. Ньютонъ описалъ новый способъ опредѣленія вращенія земли около оси и предложилъ, чтобы Общество произвело этотъ опытъ. Находящаяся на высотѣ точка, напримѣръ, вершина башни, отстоитъ отъ земной оси дальше, чѣмъ подножіе башни. Эта вершина описываетъ бо̀льшій путь, чѣмъ подножіе, и потому должна имѣть бо́льшую скорость по направленію отъ запада на востокъ, чѣмъ послѣднее. Такъ какъ шаръ, падающій съ вершины башни, удерживаетъ при своемъ паденіи эту большую скорость къ востоку, тогда какъ подножіе движется къ востоку съ меньшею скоростью, то шаръ долженъ упасть нѣсколько къ востоку отъ отвѣсной линіи[1]). Общество поручило выполненіе этого опыта Гуку. Гукъ написалъ Ньютону письмо, прочтенное имъ въ одномъ изъ слѣдующихъ собраній. Гукъ понялъ одинъ рисунокъ въ статьѣ Ньютона такъ, что путь падающаго тѣла долженъ имѣть форму спирали и что тѣло, не будь оно задержано землею, должно было бы двигаться

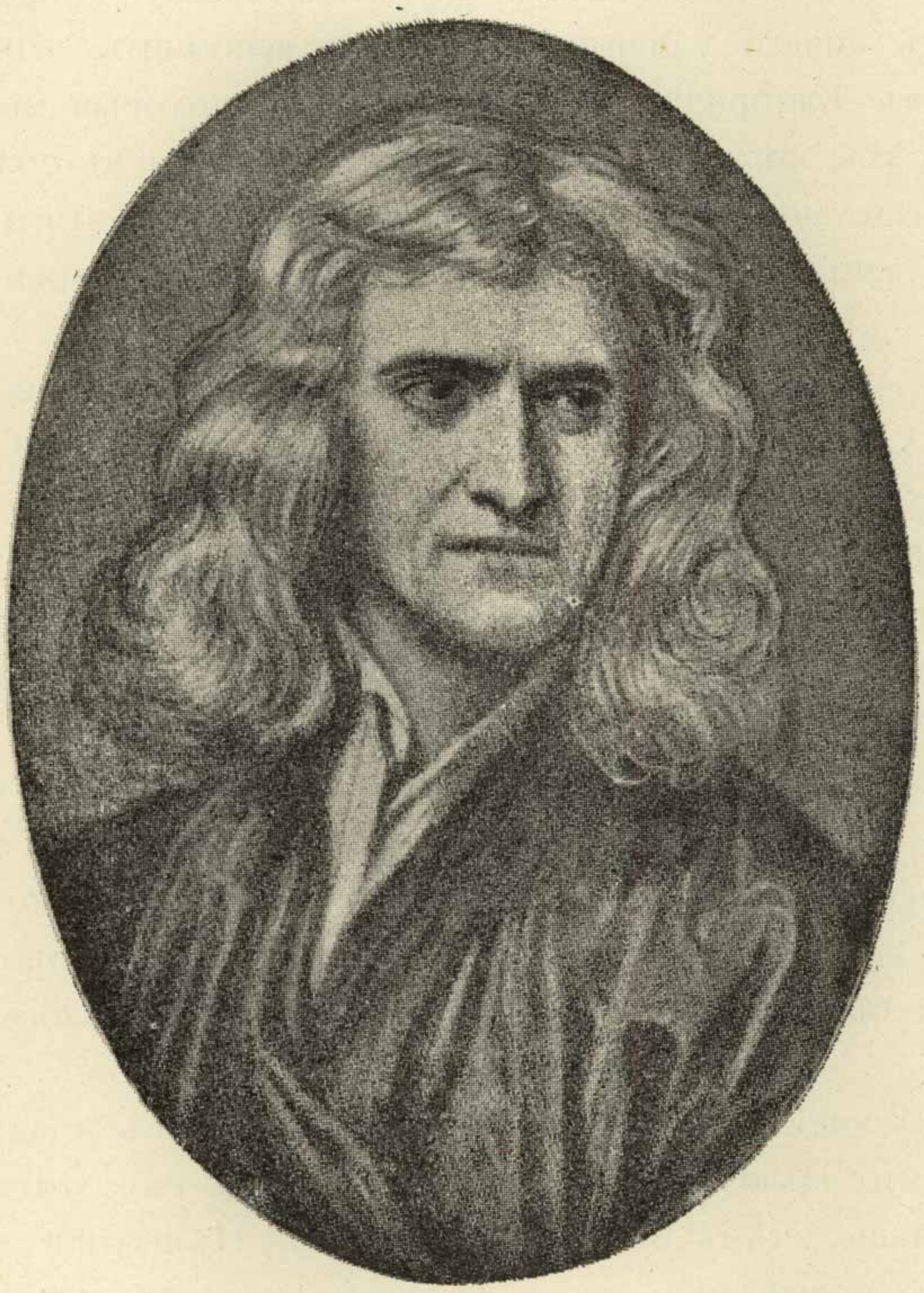
---

[1]) Тихо Браге также высказывалъ такую мысль. Но такъ какъ въ то время не былъ извѣстенъ законъ инерціи, то Тихо думалъ, что предметъ, падающій съ вершины башни, долженъ отставать, т. е. долженъ падать къ западу отъ основанія отвѣсной линіи. Тихо не нашелъ отклоненія отъ отвѣсной линіи и это укрѣпило его въ мнѣніи, что земля не вращается.

http://mathesis.ru

именно такимъ путемъ къ центру земли. Это было чистѣйшее недоразумѣніе. Ньютонъ совершенно не думалъ о паденіи до самаго центра, а только о паденіи вблизи поверхности земли, гдѣ тяжесть всюду остается одинаковой. По взгляду Гука тѣло, еслибы оно могло продолжать свое движеніе, должно было описать удлиненный эллипсъ около центра земли, вернуться къ вершинѣ башни и продолжать это движеніе дальше.—Королевское Общество было недовольно, что опыта не сдѣлали, и снова поручило Гуку произвести его. Гукъ исполнилъ это, но опытъ не привелъ ни къ какому результату, такъ какъ высота паденія была всего 27 футовъ.

Рис. 287



Ньютонъ въ молодости (по портрету 1689 года).

Эти опыты были позднѣе произведены Гульельмини въ Болоньѣ (1791), Бенценбергомъ (1802) и Рейхомъ (1831). Такъ какъ высота паденія въ опытахъ перваго изъ нихъ составляла только 90 футовъ, то и они дали не вполнѣ удовлетворительный результатъ. Зато опыты Бенценберга, которые были сдѣланы въ церкви Св. Михаила, въ Гамбургѣ, и при которыхъ высота паденія составляла 236 футовъ (76·3 *м*), привели къ рѣшительному результату, равно какъ и опыты, произведенные Рейхомъ въ Трехбратской шахтѣ (158·5 *м*) близъ Фрейберга. Эти опыты нужно производить очень тщательно, въ особенности нужно устранять вредное вліяніе сквозного вѣтра. Затѣмъ нужно сдѣлать большое количество опытовъ и изъ

http://mathesis.ru

результатовъ отдѣльныхъ опытовъ взять среднее. Бенценбергъ нашелъ въ среднемъ изъ 31 опыта отклоненіе къ востоку въ 9 *мм*, Рейхъ въ среднемъ изъ 106 опытовъ — отклоненіе въ 28·4 *мм*.

Ньютонъ не развивалъ своей мысли дальше, послѣ того какъ она встрѣтила со стороны Гука такой несоотвѣтственный пріемъ. Тѣмъ усерднѣе отдался онъ своей работѣ и когда въ 1682 г. повторилъ свое вычисленіе для луны (§ 293), положивъ въ основу величину земного діаметра, исправленную по градусному измѣренію Пикара (§ 271), то онъ нашелъ, что его идея 1666 года подтвердилась. Его возбужденіе въ этомъ случаѣ было, говорятъ, такъ велико, что онъ долженъ былъ просить одного изъ друзей довести вычисленіе до конца. Во всякомъ случаѣ въ эти годы онъ былъ погруженъ глубже, чѣмъ можно описать, въ математическую обработку этихъ вопросовъ; въ этомъ нѣтъ ничего удивительнаго, если вспомнить, что въ это время спокойнаго уединенія въ Кэмбриджѣ создавался трудъ, который можно назвать значительнѣйшимъ изъ всѣхъ, когда либо появлявшихся, трудовъ въ области естествознанія. —Однако, прежде чѣмъ мы ближе разсмотримъ содержаніе этого труда, мы должны бросить еще одинъ взглядъ на то, что происходило въ это время въ Королевскомъ Обществѣ.

297. Къ числу членовъ этого общества въ то время принадлежалъ Эдмундъ Галлей, о которомъ будетъ рѣчь ниже. Какъ Гукъ и Ренъ, Галлей много занимался движеніями небесныхъ тѣлъ и многое въ этомъ отношеніи стало для всѣхъ нихъ яснымъ. Въ январѣ 1684 г. они какъ-то собрались и разговоръ сейчасъ же перешелъ на тотъ вопросъ, которымъ интересовались всѣ трое. Если маленькое тѣло притягивается большимъ такъ, что величина притяженія обратно пропорціональна квадрату разстоянія, то малое тѣло, если въ началѣ имѣетъ боковое движеніе, должно описывать эллипсъ. Вопросъ въ томъ, какъ доказать это математически. Ренъ обѣщалъ дать тому изъ нихъ, кто первый найдетъ это доказательство, книгу цѣною въ 40 шиллинговъ (около 20 рублей). Гукъ утверждалъ, что онъ знаетъ это доказательство, но пока не хочетъ его сообщать, чтобы другіе поняли, какъ трудно найти его. Утвержденіе Гука едвали было вѣрно, такъ какъ Рену не пришлось выполнять своего обѣщанія.

Спустя семь мѣсяцевъ Галлей поѣхалъ въ Кэмбриджъ и здѣсь посѣтилъ Ньютона въ надеждѣ, что Ньютонъ сможетъ разъяснить ему этотъ вопросъ. Галлей нашелъ гораздо больше, чѣмъ ожидалъ, такъ какъ Ньютонъ закончилъ большой трудъ, въ которомъ содержалось также желаемое доказательство; но, по всей видимости, эта работа должна была оставаться въ покоѣ до смерти Ньютона, который хотѣлъ избѣжать новыхъ споровъ. Галлею, однако, удалось получить отъ Ньютона обѣщаніе представить этотъ трудъ въ Королевское Общество и Галлей всегда съ удовольствіемъ вспоминалъ объ этомъ и ставилъ себѣ въ заслугу, что онъ открылъ этотъ единственный въ своемъ родѣ трудъ и способствовалъ его появленію въ свѣтъ. Дѣло, однако, затянулось еще на нѣсколько лѣтъ, но, когда оно, наконецъ, совершилось, трудъ оказался такимъ глубокимъ, что похвальное слово ему въ Обществѣ кончалось словами: „все готово, больше нечего дѣлать“.

Гукъ былъ въ ярости, что онъ не былъ названъ въ трудѣ Ньютона, и онъ требовалъ этого на томъ основаніи, что высказывалъ основныя мысли этого труда задолго до Ньютона, иныя публично, а иныя въ письмахъ къ Ньютону. Когда

http://matheses.ru

Ньютонъ узналъ объ этомъ, онъ написалъ письмо Галлею, въ которомъ далъ волю своему гнѣву на Гука. Онъ пишетъ, что это уже третій разъ Гукъ клевещетъ на него. Первая клевета обнаружилась, конечно, въ отношеніи Гука къ открытіямъ Ньютона по оптикѣ (§ 292), вторая—въ „ученической“ поправкѣ его сообщенія объ опытѣ для доказательства вращенія земли. Эта поправка, говоритъ Ньютонъ, совершенно безсмысленна, такъ какъ онъ вовсе не говорилъ о формѣ пути внутри земли, а только о паденіи на поверхности земли, гдѣ тяжесть всюду одинакова; а теперь Гукъ является опять и утверждаетъ, будто онъ письменно сообщалъ Ньютону, что сила тяжести обратно пропорціональна квадрату разстоянія—нѣчто такое, чего Гукъ сначала не думалъ и не говорилъ, что̀ Гукъ и другіе могли, конечно, думать раньше, но не могли доказать; объ этомъ Гукъ въ своемъ письмѣ къ Ньютону выражается даже невѣрно, указывая, что этотъ законъ имѣетъ силу также внутри земли, гдѣ онъ не имѣетъ вовсе никакой силы. „Почему я долженъ“ продолжаетъ Ньютонъ, „признавать открывшимъ это человѣка, который обосновываетъ свое притязаніе на ошибкѣ и потому обрушивается на меня. Еслибы человѣкъ, считающій себя ученымъ и желающій показать это, пришелъ къ вамъ, когда вы заняты, и несмотря на ваши просьбы мучилъ васъ своими открытіями, хотѣлъ исправить васъ, самъ дѣлая ошибки, чтобы затѣмъ хвалиться, что именно онъ научилъ васъ всему этому первый, и который наконецъ утверждалъ, что съ нимъ поступаютъ несправедливо, если не признаютъ этого, то я думаю, что и вы сочли бы его за человѣка довольно-таки невыносимаго характера... Онъ ничего не сдѣлалъ, а пишетъ такъ, какъ будто онъ зналъ все и все указалъ достаточно ясно. Онъ не привелъ самой простой работы съ вычисленіями и наблюденіями и оправдываетъ это своими занятіями, тогда какъ ему нужно было оправдываться недостаткомъ способностей... Математикъ, который все выясняетъ, долженъ довольствоваться званіемъ вычислителя и простого работника, а другой, который только ставитъ требованія и хватается за все, изъявляетъ притязанія на всѣ открытія какъ будущихъ ученыхъ, такъ и своихъ предшественниковъ“.

На это рѣзкое письмо, изъ котораго мы привели только небольшую часть, Галлей отвѣтилъ мягко и успокоительно, почему и Ньютонъ объявилъ, что письмо Гука къ нему (1679), въ которомъ идетъ рѣчь о паденіи тѣла внутри земли, навело его всетаки на болѣе внимательныя размышленія объ эллиптическихъ путяхъ планетъ вокругъ солнца. Ньютонъ изъявлялъ также готовность въ одно изъ предложеній своего труда внести слова: „Какъ самостоятельно нашли также Ренъ, Гукъ и Галлей“.

Изъ всего этого слѣдуетъ, что трудъ Ньютона былъ порожденъ духомъ времени; можно сказать, какъ и во многихъ другихъ подобныхъ случаяхъ, что, еслибы не было Ньютона, то явился бы такой же трудъ какого-нибудь другого автора. Но нужно прибавить къ этому, что Ньютонъ при единственной въ своемъ родѣ умственной силѣ все это разъяснилъ сразу, какъ мановеніемъ волшебной палочки, тогда какъ въ противномъ случаѣ это, хотя и было бы разъяснено, но въ гораздо болѣе долгое время и усиліями многихъ изслѣдователей.—Не всякій можетъ слѣдить за полетомъ мысли Ньютона въ его „Началахъ“. Мы ограничимся поэтому тѣмъ, что остановимся на нѣкоторыхъ главныхъ пунктахъ содержанія этого безсмертнаго труда.

298. Когда мы подтверждали при помощи вычисленія въ § 293, что движеніе луны вокругъ земли есть простое слѣдствіе закона инерціи и тяжести, то мы ради

http://mathesis.ru

простоты допускали, что орбита луны есть кругъ, въ центрѣ котораго находится земля. Это не вполнѣ справедливо. Луна, какъ и планеты, движется вокругъ солнца по эллипсу. Такимъ образомъ, желая получить совершенно достовѣрныя заключенія, мы должны исходить изъ движеній, каковы они на самомъ дѣлѣ и какъ они опредѣляются тремя законами Кеплера (§ 73). Ньютонъ математически строго извлекаетъ изъ этихъ трехъ законовъ три вывода. Коротко говоря, законы Кеплера и выводы Ньютона гласятъ слѣдующее:

Первый законъ: Орбита планеты есть эллипсъ съ солнцемъ въ фокусѣ.

Слѣдствіе: Притяженіе обратно пропорціонально квадрату разстоянія.

Второй законъ: Радіусъ-векторъ въ равныя времена описываетъ равныя площади (секторы).

Слѣдствіе: На планеты дѣйствуетъ притягательная сила, исходящая изъ солнца.

Третій законъ: Кубы среднихъ разстояній планетъ относятся между собою, какъ квадраты ихъ временъ обращенія.

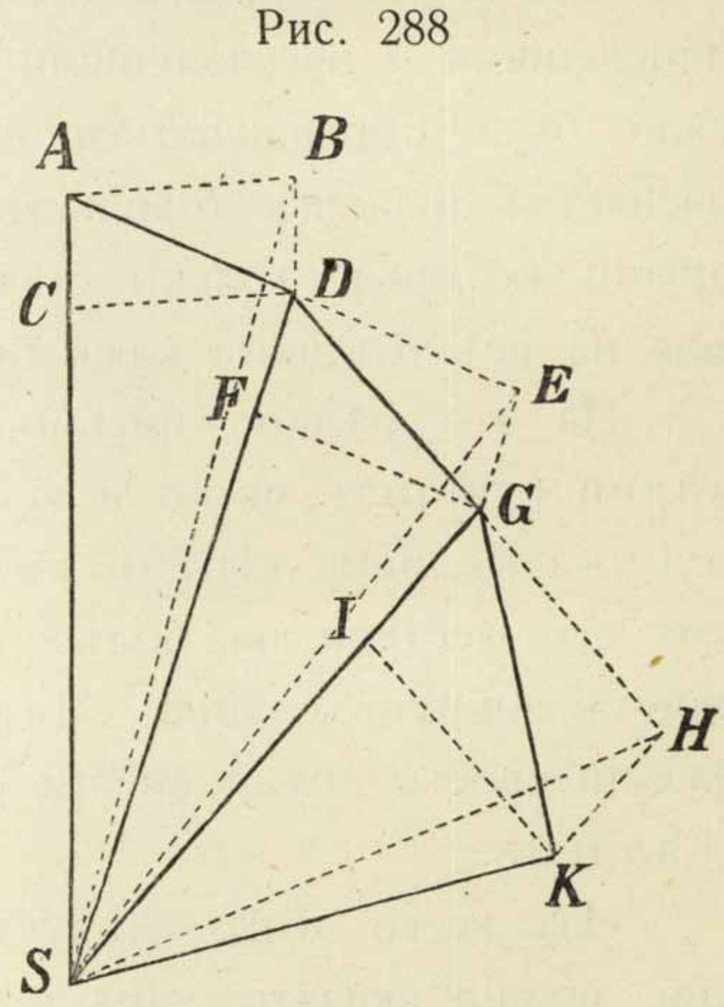
Слѣдствіе: На всѣ планеты дѣйствуетъ одна и та же притягательная сила.

Какъ искусный математикъ, Ньютонъ доказываетъ эти положенія прямымъ и обратнымъ путемъ. Исходя изъ закона, онъ получаетъ слѣдствія. Съ другой стороны, исходя изъ послѣднихъ, онъ получаетъ первые. Мы разсмотримъ это здѣсь нѣсколько подробнѣе.

299. Пусть S (рис. 288) будетъ солнце, A планета со скоростью такого направленія и такой величины, что въ единицу времени она приходила бы въ B, если-бы на нее не дѣйствовала никакая сила. Но предположимъ теперь, что на планету дѣйствуетъ сила, которая притягиваетъ ее къ солнцу, скажемъ, такъ, что въ единицу времени она достигаетъ точки C на линіи AS. Въ такомъ случаѣ планета въ единицу времени перейдетъ въ D (§ 176). Въ силу закона инерціи въ слѣдующую единицу времени планета должна была бы пройти путь DE, который имѣетъ ту же величину и направленіе, что и AD. Но такъ какъ въ то же время она притягивается изъ D въ F, то она приходитъ въ точку G. Въ концѣ третьей единицы времени она приходитъ въ точку K и т. д. Но, какъ легко видѣть,

$$\triangle ADS = \triangle DES,$$
$$\triangle DES = \triangle DGS,$$
$$\triangle DGS = \triangle GHS,$$
$$\triangle GHS = \triangle GKS.$$

Рис. 288



Дѣйствіе центральной силы.

Такимъ образомъ, треугольники, которые радіусъ-векторъ описываетъ въ равныя времена, равны, именно $ADS = DGS = GKS$. Если мысленно уменьшить частицу времени до безконечности, то путь $ADGK$ будетъ кривой линіей; этимъ доказывается второй законъ Кеплера (рис. 57).—Обратный рядъ заключеній приводитъ къ результату, что дѣйствующая на планету сила исходитъ изъ солнца.

300. Такъ какъ пониманіе движенія по эллиптическимъ орбитамъ требуетъ математическихъ познаній, которыхъ мы не предполагаемъ въ нашихъ читателяхъ, то мы

http://mathesis.ru

должны удовольствоваться замѣчаніемъ, что первый Кеплеровъ законъ также достовѣрно приводитъ къ заключенію, что сила должна уменьшаться въ такой же степени, въ какой увеличивается квадратъ разстоянія.

Мы хотѣли бы привести здѣсь контрольное вычисленіе только одного пункта. Эллипсъ представляетъ фигуру симметричную относительно обѣихъ осей, малой и большой. Слѣдовательно, орбита имѣетъ ту же кривизну тогда, когда планета бываетъ ближе всего къ солнцу, т. е. когда ея скорость наибольшая, и тогда, когда планета находится на наибольшемъ разстояніи и ея скорость наименьшая. Это равенство кривизнъ легко доказать при помощи элементарнаго разсчета.

Пусть на наименьшемъ разстояніи отъ солнца (перигелій) радіусъ кривизны будетъ r, скорость v, центробѣжная сила, а, значитъ, и притяженіе, уравновѣшивающее ее, f. Тогда (§ 173)

$$f = \frac{v^2}{r}.$$

Точно такъ же на наибольшемъ разстояніи отъ солнца (афелій)

$$F = \frac{V^2}{R}.$$

Изъ этихъ двухъ равенствъ слѣдуетъ:

$$\frac{f}{F} = \frac{v^2}{V^2} \cdot \frac{R}{r}.$$

Если назвать теперь разстояніе солнца въ перигеліи a и въ афеліи A, то по второму Кеплерову закону два треугольника съ основаніями v и V и высотами a и A равны, слѣдовательно:

$$a \,.\, v = A \,.\, V \text{ или } \frac{v}{V} = \frac{A}{a}.$$

Если въ предыдущемъ равенствѣ замѣнить $\frac{v^2}{V^2}$ черезъ $\frac{A^2}{a^2}$, то получится

$$\frac{f}{F} = \frac{A^2}{a^2} \cdot \frac{R}{r}.$$

Если теперь ввести предположеніе Ньютона о связи между разстояніями и притяженіями, именно

$$\frac{f}{F} = \frac{A^2}{a^2},$$

то получится, что $R/r = 1$ или $R = r$, т. е. кривизны въ перигеліи и афеліи равны. Если же, съ другой стороны, исходить изъ перваго закона Кеплера, что орбиты планетъ суть эллипсы, то эти радіусы кривизны должны быть равны и равенство

$$\frac{f}{F} = \frac{A^2}{a^2} \cdot \frac{R}{r}$$

обращается въ

$$\frac{f}{F} = \frac{A^2}{a^2},$$

т. е. предположеніе Ньютона о зависимости притяженія отъ разстоянія оказывается вѣрнымъ.

Законъ измѣненія силы тяжести съ разстояніемъ имѣетъ сходство съ закономъ убыванія яркости при удаленіи отъ источника свѣта (§ 82). Однако, нельзя смот-

http://mathesis.ru

рѣть на этотъ законъ, какъ на нѣчто само собою понятное. Изъ того, что въ природѣ соблюдается такой законъ, слѣдуетъ, однако, то, что въ міровомъ пространствѣ не существуетъ ничего, что могло бы, такъ сказать, ослаблять или уничтожать силу притяженія, и ничего, что мѣшало бы движенію планетъ.

301. Сравнимъ, наконецъ, между собою дѣйствія, производимыя притягательной силой солнца на различныя планеты. Пусть r будетъ разстояніе земли отъ центра солнца (выраженное, напримѣръ, въ радіусахъ солнца) и t—время одного обращенія земли вокругъ солнца (одинъ годъ). Въ такомъ случаѣ центробѣжная сила, стремящаяся удалить землю отъ солнца, будетъ $\frac{4\pi^2 r}{t^2}$ (§ 174). Если мы обозначимъ черезъ k ту силу, съ которой солнце притягивало бы землю, еслибы послѣдняя находилась на его поверхности, то $\frac{k}{r^2}$ будетъ выражать величину силы притяженія на дѣйствительномъ разстояніи земли. Такъ какъ въ концѣ концовъ земля не удаляется отъ солнца и не приближается къ нему, то эти двѣ силы должны быть равны:

$$\frac{k}{r^2} = \frac{4\pi^2 r}{t^2} \text{ или } k = \frac{4\pi^2 r^3}{t^2}.$$

Если мы обозначимъ соотвѣтствующія величины для другой планеты черезъ K, R и T, то получимъ:

$$K = \frac{4\pi^2 R^3}{T^2}.$$

Но по третьему закону Кеплера

$$\frac{r^3}{t^2} = \frac{R^3}{T^2}, \text{ слѣдовательно, и } \frac{4\pi^2 r^3}{t^2} = \frac{4\pi^2 R^3}{T^2},$$

т. е. $k = K$. Такимъ образомъ, земля и всѣ остальныя планеты должны на поверхности солнца испытывать одинаковое притяженіе. Этотъ законъ вполнѣ соотвѣтствуетъ закону, по которому всѣ тѣла на земной поверхности—большія и малыя, тяжелыя и легкія—падаютъ съ одинаковой скоростью (§ 139). Итакъ, сила, съ которой солнце притягиваетъ планеты, зависитъ не отъ состава и величины планетъ, а лишь отъ ихъ разстоянія отъ солнца.

302. Но, какъ показали наблюденія, третій законъ Кеплера справедливъ также и для спутниковъ планетъ, напримѣръ, для временъ обращенія спутниковъ Юпитера и ихъ разстояній отъ него. Отсюда слѣдуетъ, что и эта планета дѣйствуетъ на всѣхъ своихъ спутниковъ съ одинаковой силой; Ньютонъ вывелъ отсюда заключеніе, что эта сила притяженія не есть какая-нибудь магнитная или тому подобная сила, но что она обусловливается только массою небесныхъ тѣлъ—даже болѣе того, —что сила притяженія есть всеобщее свойство вещества и что количество вещества можетъ быть измѣрено величиною притяженія. Для поясненія можно привести нѣсколько примѣровъ; для простоты мы будемъ брать круглыя числа.

Примемъ разстояніе луны отъ земли за 1; тогда разстояніе земли отъ солнца будетъ приблизительно 400 (§ 33). Въ такомъ случаѣ центробѣжная сила, дѣйствующая на землю въ ея движеніи вокругъ солнца и уравновѣшиваемая притягательной силой солнца, можетъ быть выражена формулой $\frac{4\pi^2 . 400}{365^2}$ (§ 174), если за единицу времени принять сутки. Сила притяженія, съ которой земля дѣйствуетъ на луну и

http://mathesis.ru

которая равна центробѣжной силѣ луны въ ея движеніи вокругъ земли, выразится формулой $\frac{4\pi^2 . 1}{27^2}$. Еслибы луна находилась на такомъ же разстояніи отъ земли, какъ и солнце, то земля притягивала бы ее съ силой, равной

$$\frac{4\pi^2 . 1}{27^2} \cdot \frac{1}{400^2}.$$

Отсюда мы заключаемъ, что притягательная сила солнца относится къ притягательной силѣ земли, какъ

$$\frac{4\pi^2 . 400}{365^2} : \frac{4\pi^2 . 1}{27^2 . 400^2} = \frac{400^3 . 27^2}{365^2}.$$

Вычисливъ это выраженіе безъ такого округленія чиселъ, мы получили бы приблизительно 320000. Притягательная сила солнца въ 320000 разъ больше притягательной силы земли.

Для того чтобы сравнить притягательную силу земли съ притягательной силой Юпитера, мы можемъ воспользоваться внѣшнимъ спутникомъ Юпитера. Онъ отстоитъ отъ Юпитера приблизительно въ пять разъ дальше, чѣмъ луна отъ земли, и время его обращенія составляетъ приблизительно 17 сутокъ. Его центробѣжная сила и, слѣдовательно, сила притяженія Юпитера равна $\frac{4\pi^2 . 5}{17^2}$. Еслибы разстояніе луны отъ земли было равно разстоянію этого спутника Юпитера отъ послѣдняго, то она притягивалась бы съ силой равной $\frac{4\pi^2 . 1}{27^2} \cdot \frac{1}{5^2}$. Слѣдовательно, притягательныя силы Юпитера и земли относятся между собою, какъ

$$\frac{4\pi^2 . 5}{17^2} : \frac{4\pi^2 . 1}{27^2 . 5^2} = \frac{5^3 . 27^2}{17^2},$$

т. е. сила притяженія Юпитера приблизительно въ 310 разъ больше силы притяженія земли на такомъ же разстояніи.

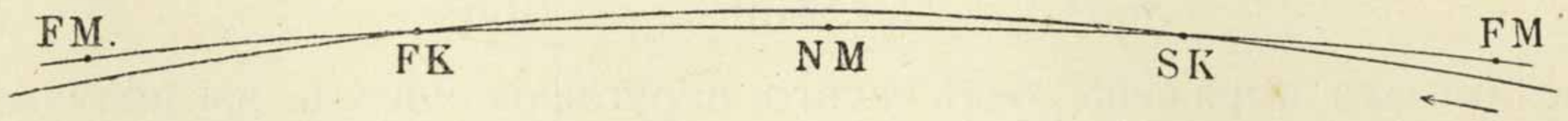
Сила, съ которой солнце притягиваетъ луну, въ среднемъ такова же, какъ и сила, съ которой оно притягиваетъ землю, а именно $\frac{4\pi^2 . 400}{365^2}$; эта сила то нѣсколько больше указанной величины, то нѣсколько меньше ея, смотря по тому, находятся ли луна и солнце по одну сторону отъ земли или же съ противоположныхъ сторонъ. Сравнивая силу, съ какою луна притягивается къ солнцу, съ той силой, съ какою она притягивается къ землѣ, а именно, $\frac{4\pi^2 . 1}{27^2}$, нетрудно заключить, что сила притяженія луны солнцемъ $\left(\frac{4\pi^2}{333}\right)$ больше, чѣмъ сила притяженія луны землею $\left(\frac{4\pi^2}{729}\right)$. Отсюда вытекаетъ, что не только орбита земли, но и лунная орбита обращена къ солнцу вогнутостью; при этомъ кривизна послѣдней бываетъ наибольшей въ полнолуніе (рис. 289, FM) и наименьшей въ новолуніе (NM), такъ какъ въ первомъ случаѣ солнце и земля дѣйствуютъ въ одномъ и томъ же направленіи, а въ послѣднемъ — въ противоположныхъ направленіяхъ.

303. Вычисляя такимъ образомъ величину силы притяженія небесныхъ тѣлъ и дѣлая отсюда выводъ, что эта сила есть всеобщее свойство вещества, Ньютонъ опредѣлялъ, такъ сказать, количество вещества или массу отдѣльныхъ небесныхъ

http://mathesis.ru

тѣлъ. Притяженіе земли или тяжесть является наиболѣе извѣстнымъ изъ повседневнаго опыта проявленіемъ этихъ притягательныхъ силъ. Изъ того, что тяготѣніе есть всеобщее свойство тѣлъ и что одно тѣло притягивается другимъ тѣломъ съ силой, соотвѣтствующей массѣ послѣдняго, и само, въ свою очередь, притягиваетъ другое тѣло съ силой, соотвѣтствующей его массѣ, вытекаетъ, что обусловливаемая тяготѣніемъ сила—давленіе или натяженіе—пропорціональна массѣ какъ одного, такъ и другого тѣла, слѣдовательно, пропорціональна и произведенію массъ обоихъ тѣлъ.

Рис. 289



Орбиты земли и луны вокругъ солнца.

Сила, съ которой притягиваются къ землѣ тѣла на земной поверхности, или вѣсъ тѣлъ, зависитъ только отъ собственной массы этихъ тѣлъ, такъ какъ масса земли, а слѣдовательно, и ея сила притяженія остается одной и той же для всѣхъ тѣлъ на ея поверхности. Такимъ образомъ, вѣсъ тѣла пропорціоналенъ его массѣ.

Если мы вообразимъ, что солнце, планеты и ихъ спутники перенесены на поверхность еще болѣе огромнаго тѣла и положены тамъ рядомъ, то и здѣсь ихъ вѣса будутъ пропорціональны ихъ массамъ. Выше было указано, какъ Ньютонъ вычислилъ эти массы; и изображеніе на его надгробной плитѣ въ Вестминстерскомъ аббатствѣ ангеловъ, взвѣшивающихъ небесныя тѣла на вѣсахъ, не покажется слишкомъ неумѣстнымъ.

304. Послѣ того какъ были получены отношенія массъ небесныхъ тѣлъ, оставалось еще опредѣлить абсолютное значеніе массы одной изъ планетъ, напримѣръ, земли. Такъ какъ объемъ земли извѣстенъ, то вопросъ въ сущности сводится къ опредѣленію ея плотности. Можетъ показаться страннымъ—говорить о вѣсѣ земли: говоря о вѣсѣ какого-нибудь тѣла мы подъ этимъ подразумѣваемъ ту силу, съ которой оно притягивается землею. Но можно, разумѣется, представить себѣ, что земля разбита на большое количество мелкихъ частей, что каждая изъ нихъ взвѣшена и возвращена обратно на свое мѣсто и что, наконецъ, найдена сумма вѣсовъ всѣхъ такихъ частей.—Какъ мы сейчасъ увидимъ, позднѣе вѣсъ земли былъ опредѣленъ очень точно и вмѣстѣ съ тѣмъ было найдено подтвержденіе закона всемірнаго тяготѣнія.

305. Первыя попытки опредѣленія массы земли состояли въ томъ, что массу земли сравнивали съ массой какой-нибудь горы. Гора, масса которой въ сравненіи съ массой земли, конечно, ничтожна, но въ сравненіи съ массой другихъ предметовъ велика, должна оказывать замѣтное притяженіе на всякое близкое тѣло. Первые такіе опыты были произведены Бугеромъ и Кондаминомъ во время ихъ пребыванія въ Южной Америкѣ (§ 278).

По мѣрѣ удаленія отъ земли, т. е. съ поднятіемъ надъ уровнемъ моря, сила тяжести уменьшается въ такомъ же отношеніи, въ какомъ растетъ квадратъ разстоянія отъ центра земли. На вершинѣ высокой горы сила тяжести должна быть такимъ образомъ нѣсколько меньше, чѣмъ у подошвы; причемъ это уменьшеніе нетрудно вычислить, если извѣстна высота горы. Но такъ какъ сама гора имѣетъ массу, ко-

http://mathesis.ru

торая при томъ ближе къ наблюдателю, находящемуся на вершинѣ, чѣмъ центръ земли, то тѣло на вершинѣ горы будетъ сильнѣе притягиваться книзу благодаря этой массѣ. Полученная такимъ образомъ величина силы тяжести вслѣдствіе этого должна быть нѣсколько больше, чѣмъ вышло бы по непосредственному вычисленію. Бугеръ и Кондаминъ опредѣляли величину силы тяжести при помощи часовъ съ маятникомъ (ср. § 275); въ результатѣ своихъ вычисленій они получили, что плотность земли въ 4·5 раза превосходитъ плотность горной цѣпи Кордильеровъ.

Названные физики пытались сравнить массу земли съ массой горы еще и другимъ способомъ. Тѣло, находящееся у подошвы горы, подчинено, естественно, силѣ тяжести, направленной къ центру земли, съ другой стороны и гора нѣсколько притягиваетъ тѣло, и при томъ въ горизонтальномъ направленіи. Эти двѣ силы даютъ равнодѣйствующую, которая направлена не совсѣмъ къ центру земли, а нѣсколько отклонена къ горѣ. Бугеръ и Кондаминъ измѣряли отклоненіе отвѣса отъ вертикали вблизи горы Чимборасо и отсюда вычислили отношеніе массъ земли и этой горы. Но для массы горы получилась такая ничтожная величина, что они нашли нужнымъ допустить, что Чимборасо заключаетъ въ себѣ пустоты вулканическаго происхожденія.

Идея была правильна, плохо было лишь выполненіе. Подобный же опытъ, но съ лучшимъ результатомъ, былъ произведенъ Маскелайномъ въ 1774 г. у горы Шегальонъ въ Шотландіи. Были взяты двѣ точки, изъ коихъ одна лежала сѣвернѣе названной горы, а другая южнѣе ея; разстояніе между ними (найденное при помощи геодезическихъ измѣреній) равнялось 1330 *м*. Разность географическихъ широтъ (найденныхъ измѣреніемъ высоты полюса), т. е. уголъ, образуемый направленіями отвѣса въ обоихъ пунктахъ, равнялась 54·6″, между тѣмъ какъ дугѣ въ 1330 *м* соотвѣтствуетъ уголъ въ 43″. Такимъ образомъ, отклоненіе отвѣса отъ вертикали составило 5·8″. Представивъ себѣ массу горы сосредоточенной въ центрѣ тяжести горы, а массу земли — въ ея центрѣ, можно найти, что плотность земли должна быть въ 1·8 раза больше плотности этой горы. Такъ какъ плотность горы была принята равной 2·61, то для плотности земли получилось число 4·7.

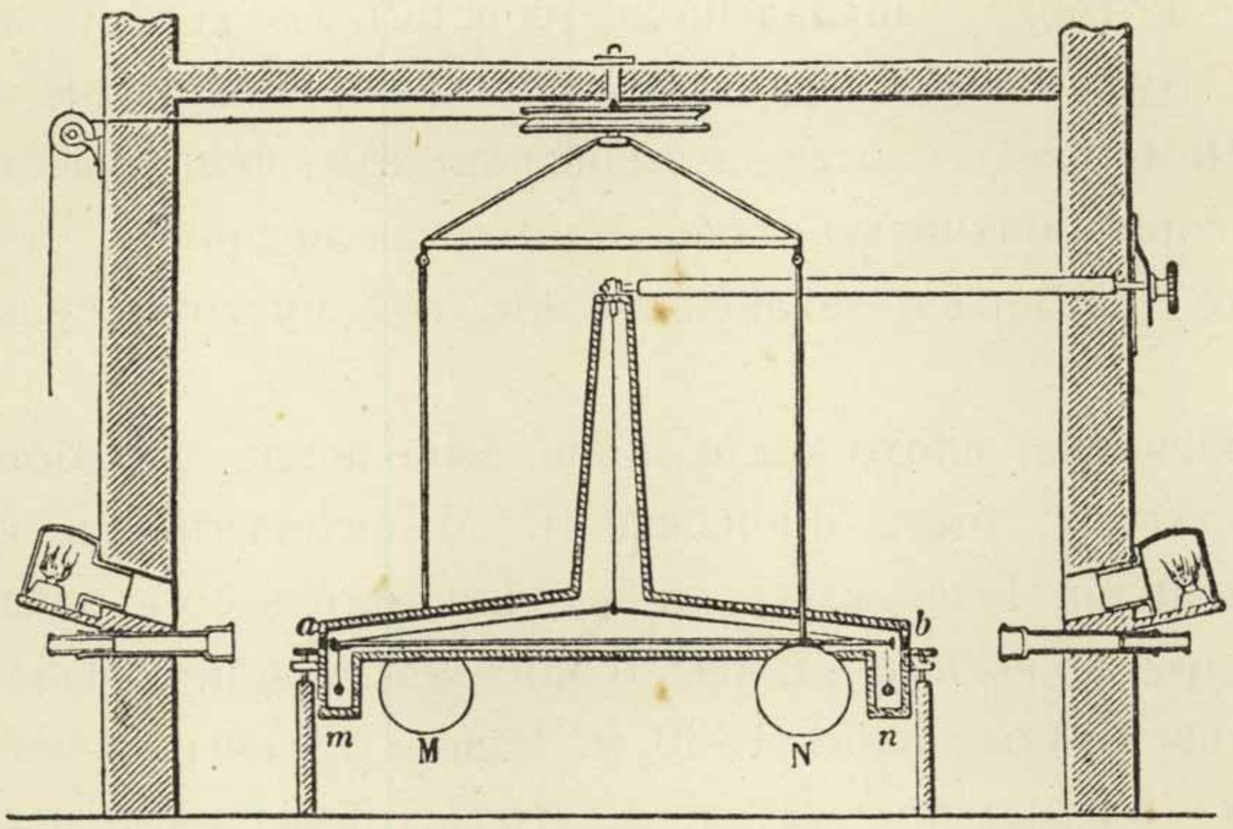
306. Джонъ Митчелль предложилъ другой пріемъ, который долженъ былъ привести къ очень надежнымъ результатамъ. Но онъ умеръ, не успѣвъ произвести опытовъ. Послѣ его смерти опыты были произведены знаменитымъ англійскимъ химикомъ Генри Кэвендишемъ (1731 — 1810). Результаты своихъ опытовъ онъ обнародовалъ въ 1798 г.

Помѣщеніе для этихъ опытовъ устраиваютъ такимъ образомъ (рис. 290), чтобы, насколько возможно, устранить въ немъ какое бы то ни было движеніе воздуха. Наблюдатель находится внѣ комнаты и производитъ наблюденія при помощи зрительныхъ трубъ, пропущенныхъ сквозь стѣны. Надъ зрительными трубами устанавливаются лампы, бросающія въ комнату свѣтъ, необходимый для отсчетовъ. Въ серединѣ комнаты на серебряной проволокѣ подвѣшивается горизонтальный прутъ изъ еловаго дерева, на концахъ котораго насажены шары *m* и *n* вѣсомъ въ 729 *г* каждый. Эти шары, прутъ и проволока помѣщены въ деревянномъ ящикѣ (на рисункѣ онъ заштрихованъ). Внѣ ящика на концахъ горизонтальнаго стержня такой же длины, какъ и *a b*, висятъ два большихъ свинцовыхъ шара *M* и *N* вѣсомъ по 158 *кг* каждый. При помощи блока, приводимаго въ движеніе извнѣ, можно вращать этотъ

http://mathesis.ru

стержень вокругъ вертикальной оси, пропущенной сквозь потолокъ комнаты. Въ началѣ опыта линія MN образуетъ съ ab прямые углы. При вращеніи большой шаръ M приближается къ маленькому шарику m и большой шаръ N къ шарику n. Черезъ зрительныя трубы можно при этомъ замѣтить, что и маленькіе шарики m и n приближаются къ большимъ шарамъ M и N, вслѣдствіе чего серебряная проволока испытываетъ закручиваніе. Уголъ этого закручиванія или, что все равно, дуги, описанныя шариками m и n, можно отсчитать при помощи зрительныхъ трубъ,—и это служитъ мѣрою силы, съ которой большіе шары притягиваютъ маленькіе. Остается только рѣшить вопросъ, какая сила соотвѣтствуетъ опредѣленному углу закручиванія. Это можно найти при помощи соотвѣтственныхъ опытовъ различными пріемами.

Рис. 290



Опытъ Кэвендиша.

Опредѣливъ величину закручиванія различной толщины серебряныхъ проволокъ въ зависимости отъ силы и отъ толщины проволоки и принимая во вниманіе, что при одномъ и томъ же закручиваніи сила обратно пропорціональна четвертой степени діаметра проволоки, можно вычислить приложенную силу по величинѣ закручиванія и по толщинѣ проволоки.

Однако, здѣсь лучше всего опредѣлить силу непосредственно изъ опыта со взятой проволокой. Это можно найти, напримѣръ, заставивъ прутъ ab колебаться, закручиваясь и раскручиваясь, и наблюдая время его одного колебанія. Отсюда можно опредѣлить величину силы, какъ и при колебаніяхъ маятника.

Такими опытами Кэвендишу удалось опредѣлить едва замѣтное притяженіе, производимое большими свинцовыми шарами на маленькіе. Сравнивъ это притяженіе съ вѣсомъ маленькихъ шариковъ, т. е. съ притяженіемъ земли, и принявъ во вниманіе, что свинцовые шары и земля находились на равныхъ разстояніяхъ отъ m и n, Кэвендишъ нашелъ, что средняя плотность земли равна 5·49.

Такіе же опыты и съ тѣмъ же результатомъ были позднѣе произведены различными физиками, между прочимъ Бэли (1843). Онъ бралъ много различныхъ шаровъ изъ разныхъ веществъ, даже изъ метеорнаго камня, съ цѣлью изслѣдовать и вещества неземного происхожденія. Во всѣхъ случаяхъ онъ неизмѣнно получалъ, что сила притяженія прямо пропорціональна вѣсу шаровъ; это прямо подтверждаетъ, что тяжесть есть проявленіе всемірнаго тяготѣнія. Бэли въ общемъ произвелъ около 2000

http://mathesis.ru

отдѣльныхъ опытовъ. Изъ всѣхъ этихъ опытовъ среднее значеніе плотности земли получилось равнымъ 5·67.

Въ новѣйшее время плотность земли была весьма точно получена Кёнигомъ и Рихарцомъ (1885), воспользовавшимися особыми вѣсами, впервые примѣненными Жолли, а также Бойсомъ (1892—1895), примѣнившимъ методъ Кэвендиша. Ими были получены числы 5·51 (Кенигъ и Рихарцъ) и 5·53 (Бойсъ).

307. Въ принципахъ Ньютона находитъ объясненіе огромное количество астрономическихъ явленій,—не только движенія планетъ во всей совокупности подъ вліяніемъ тяготѣнія къ центральному тѣлу, но и цѣлый рядъ мелкихъ отклоненій, обусловливаемыхъ вліяніемъ другихъ небесныхъ тѣлъ. Такъ, въ движеніи луны есть много неправильностей вслѣдствіе того, что на нее оказываетъ вліяніе не только земля, но въ сильной степени и солнце. Замѣтнымъ образомъ вліяютъ на луну и планеты. Этими вліяніями обусловливается измѣненіе эксцентриситета лунной орбиты и, слѣдовательно, измѣненіе ея скорости и разстоянія отъ земли, измѣненіе наклона лунной орбиты къ эклиптикѣ; измѣненія положенія линіи пересѣченія плоскости лунной орбиты съ эклиптикой; измѣненія видимой части поверхности луны и т. д. Мы ограничимся лишь указаніемъ этихъ отклоненій. Въ настоящее время всѣ они могутъ быть вычисляемы съ большой точностью.

308. Такимъ же образомъ въ движеніи планетъ можно замѣтить небольшія производимыя дѣйствіемъ другихъ планетъ отклоненія (возмущенія) отъ орбитъ, по которымъ ихъ должна была бы двигать притягательная сила одного солнца. Эти отклоненія (возмущенія) также нашли себѣ объясненіе и даже послужили для опредѣленія величины силы притяженія и, слѣдовательно, массы этихъ другихъ планетъ, что особенно важно для тѣхъ небесныхъ тѣлъ, у которыхъ нѣтъ спутниковъ и массы которыхъ нельзя опредѣлить по разстоянію и времени обращенія спутника.

Въ этой области теоріи всемірнаго тяготѣнія принадлежитъ великая побѣда. Въ 1781 году В. Гершель открылъ планету Уранъ, которую можно замѣтить простымъ глазомъ лишь при особо благопріятныхъ обстоятельствахъ и которая явилась тогда самой далекой планетой въ солнечной системѣ. Но еще до того, какъ Уранъ совершилъ полное обращеніе вокругъ солнца (84 года), въ его движеніи замѣтили возмущеніе, которое нельзя было объяснить притяженіемъ Сатурна или Юпитера. Нѣсколькими астрономами отсюда былъ сдѣланъ выводъ, что за предѣлами орбиты Урана должна существовать еще одна планета,—и были сдѣланы попытки опредѣлить по возмущеніямъ Урана элементы неизвѣстной планеты, т. е. ея разстояніе отъ солнца, ея положеніе и т. д. Но планета должна была находиться такъ далеко, что по слабости ея освѣщенія солнцемъ замѣтить ее возможно было бы лишь съ большимъ трудомъ; такимъ образомъ отъ вычисленій до наблюденій оставался еще трудный шагъ. Бессель въ Кенигсбергѣ, вѣроятно, первымъ закончилъ вычисленія, но болѣзнь помѣшала ему приступить къ наблюденіямъ. Джонъ К. Адамсъ также вычислилъ положеніе этой планеты, но Эри, Королевскій астрономъ въ Гриничѣ, не хотѣлъ прерывать для поисковъ свои собственныя работы. Вычисленія Адамса были переданы Чаллису въ Кэмбриджѣ, который и взялся за розыски планеты. Но такъ какъ у него не было достаточно подробной карты этой части небеснаго свода, онъ вынужденъ былъ сперва заняться ея изготовленіемъ; позже оказалось, что онъ даже видѣлъ новую планету, но нанесъ ее на карту, какъ неподвижную звѣзду. Такимъ-то

http://mathesis.ru

образомъ Леверрье (1811—1877; съ 1854 г. директоръ Парижской обсерваторіи), первому удалось достигнуть цѣли, благодаря его вычисленіямъ и энергіи. Такъ какъ въ Парижѣ не пожелали браться за розысканіе планеты, то Леверрье обратился въ Берлинъ къ Галле. Послѣдній имѣлъ въ своемъ распоряженіи точныя карты этой части неба и немедленно, въ первый же вечеръ, а именно, 23 сентября 1846 года, онъ увидѣлъ новую планету и призналъ ее за таковую, такъ какъ она имѣла видъ небольшого слабо свѣтящагося диска. Планетѣ было дано имя Нептунъ.

Впослѣдствіи было выяснено, что результатъ вычисленій Леверрье былъ не совсѣмъ точенъ, а именно, найденное имъ разстояніе планеты оказалось слишкомъ большимъ. Такимъ образомъ, только благодаря счастливой случайности онъ довольно вѣрно указалъ направленіе, по которому слѣдовало искать планету. Во всякомъ случаѣ, Ньютоновъ законъ всемірнаго тяготѣнія получилъ прекрасное подтвержденіе въ томъ фактѣ, что на основаніи этого закона было открыто небесное свѣтило; правда, объ этомъ свѣтилѣ нельзя сказать, что его до тѣхъ поръ не видѣли, такъ какъ въ раннихъ звѣздныхъ каталогахъ его можно найти въ томъ мѣстѣ, которое оно занимало во время составленія каталога, но какъ неподвижную звѣзду. Звѣздой его тогда считали потому, что перемѣщеніе его, вслѣдствіе огромности разстоянія отъ солнца, чрезвычайно медленно.

309. Послѣ ознакомленія съ членами планетной системы мы считаемъ полезнымъ сдѣлать теперь обзоръ размѣровъ планетъ. Однако, этому нужно сначала предпослать замѣчаніе относительно разстоянія земли отъ солнца; объ этомъ при Ньютонѣ существовало болѣе правильное представленіе, чѣмъ во времена Гиппарха (§ 36), хотя вполнѣ точно оно не было извѣстно и тогда.

Зато весьма точно было извѣстно отношеніе между разстояніями земли и планетъ отъ солнца. Для внутреннихъ планетъ, Меркурія и Венеры, это отношеніе опредѣляется легко. Для этого достаточно прослѣдить, на какое число градусовъ могутъ удалиться эти планеты отъ солнца. Принявъ какой-нибудь отрѣзокъ прямой за разстояніе земли отъ солнца, построимъ при немъ эти углы такимъ образомъ, чтобы земля находилась въ общей вершинѣ этихъ угловъ; изъ точки, въ которой находится солнце, опускаемъ затѣмъ перпендикуляры на другія стороны этихъ угловъ. Эти перпендикуляры представятъ радіусы орбитъ Меркурія и Венеры.

Чтобы найти то же отношеніе для внѣшнихъ планетъ, необходимо сначала опредѣлить изъ наблюденій времена ихъ обращеній вокругъ солнца. Зная, напримѣръ, что время одного обращенія Юпитера около солнца равно 12 годамъ, можно приступить къ наблюденіямъ тогда, когда Юпитеръ и солнце находятся въ противостояніи, т. е. когда земля находится въ a (рис. 291), солнце въ S, а Юпитеръ находится по направленію къ извѣстной неподвижной звѣздѣ S'.—Мѣсто планеты на линіи aS' не показано на чертежѣ.—Спустя два мѣсяца земля пройдетъ путь въ 60^0 и будетъ находиться въ точкѣ b. Вслѣдствіе же того, что Юпитеръ за тотъ же промежутокъ времени совершитъ путь лишь въ 5^0, онъ будетъ находиться гдѣ-нибудь на линіи Scm. Измѣримъ теперь изъ нашего новаго мѣстоположенія уголъ v, образуемый лучами зрѣнія bS'' къ той же неподвижной звѣздѣ и bn къ Юпитеру. Послѣдній долженъ находиться въ точкѣ пересѣченія J обѣихъ линій cm и bn. Это и опредѣлитъ отношеніе между разстояніями земли и Юпитера отъ солнца.

Получивъ всѣ такія отношенія, нужно опредѣлить дѣйствительную величину

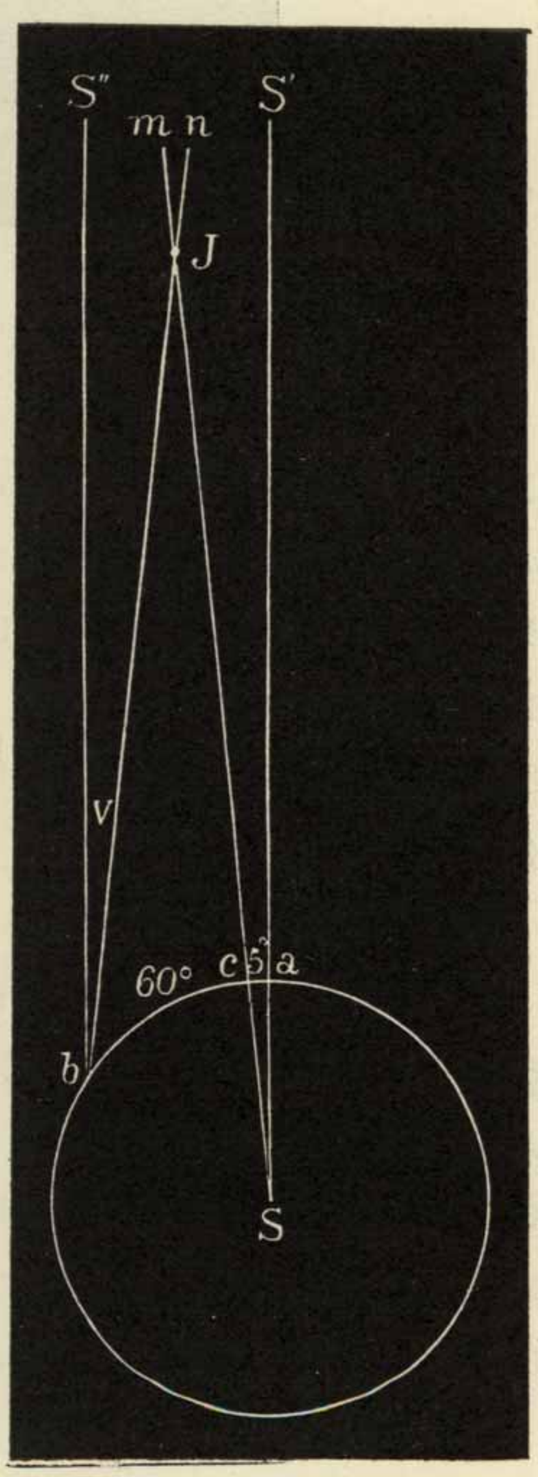
http://mathesis.ru

какого-нибудь одного разстоянія при помощи этой одной величины и найденныхъ отношеній легко вычислить остальныя разстоянія.

Аристархъ и Гиппархъ (§§ 33—36) пытались измѣрить разстояніе земли отъ солнца, но результатъ измѣреній (1000000 миль) былъ весьма неточенъ, такъ какъ опредѣленіе момента, когда луна освѣщена какъ разъ наполовину, слишкомъ ненадежно. Измѣренія были повторены Коперникомъ, Тихо Браге и Кеплеромъ, причемъ послѣдній получилъ въ результатѣ 3000000 миль. Но эти измѣренія были тоже ненадежны и результатъ, какъ мы увидимъ, былъ черезчуръ малъ.

Доминикъ Кассини (§ 282) обратилъ тогда вниманіе на то обстоятельство, что Марсъ въ противостояніи бываетъ вдвое ближе къ землѣ, чѣмъ солнце, а иногда (когда онъ въ перигеліи) разстояніе его отъ земли еще меньше. По его предложенію были предприняты наблюденія Марса одновременно въ Парижѣ и въ Кайеннѣ, причемъ для производства наблюденій въ Кайенну былъ командированъ по порученію Академіи Рише. Измѣренія дали результатъ, близкій къ истинному. Исходя изъ найденнаго разстоянія Марса, было вычислено, что разстояніе земли отъ солнца составляетъ около 18—19 милліоновъ миль.

Рис. 291



Отношеніе между разстояніями земли и Юпитера отъ солнца.

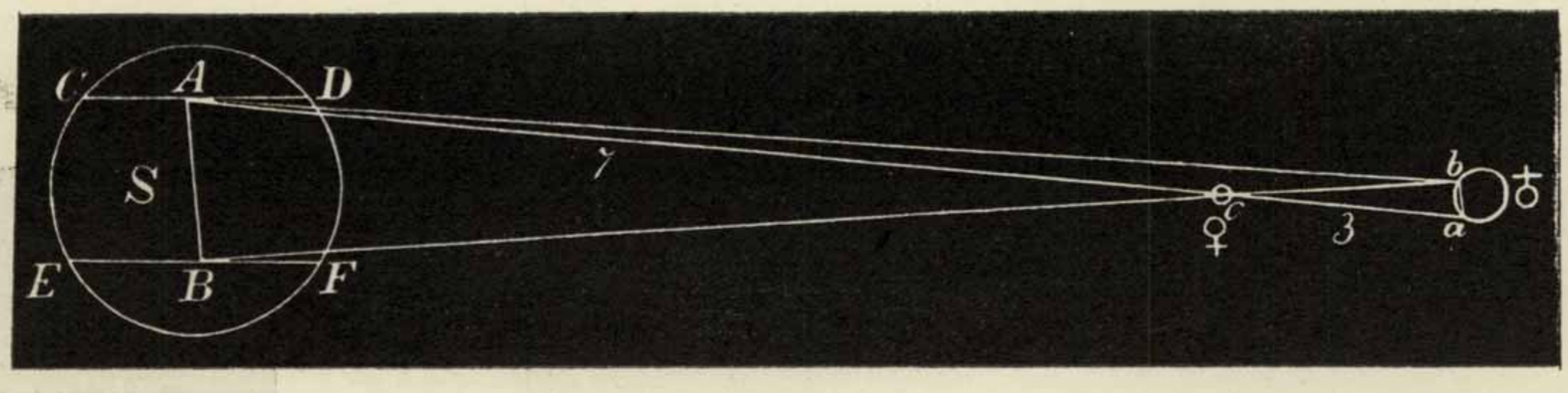
Въ такомъ положеніи находился этотъ вопросъ во время Ньютона. Галлей (§ 297 и II, § 22[illegible]) указалъ на то, что Венера во время соединеній бываетъ къ намъ еще ближе, чѣмъ Марсъ. Въ это время она, вообще говоря, невидима. Лишь въ рѣдкихъ случаяхъ, когда она находится какъ разъ на линіи отъ земли къ солнцу, она медленно проходитъ черезъ дискъ солнца въ видѣ чернаго пятна. Но это явленіе случается весьма рѣдко, а именно, должно пройти болѣе 100 лѣтъ, чтобы оно повторилось. Но тогда уже слѣдуютъ одно за другимъ два прохожденія съ промежуткомъ въ 8 лѣтъ. Послѣ изобрѣтенія зрительной трубы „прохожденіе Венеры“ было предсказано Кеплеромъ для 1631 года. Но, когда это сбылось, Кеплеръ уже умеръ. Слѣдующее прохожденіе было въ 1639 году. Его наблюдали, но не воспользовались имъ такъ, какъ воспользовались, благодаря указанію Галлея, прохожденіями 1761 и 1769 годовъ. Галлей приложилъ всѣ старанія къ тому, чтобы этотъ благопріятный случай не былъ упущенъ. Старанія его увѣнчались успѣхомъ и для разстоянія земли отъ солнца было получено такое значеніе, которое по своей точности далеко превзошло всѣ прежнія. Еще болѣе точное значеніе было получено въ слѣдующія затѣмъ прохожденія Венеры—въ 1874 и 1882 годахъ.

Рис. 292 разъясняетъ пріемъ, которымъ пользуются при этомъ. Венеру наблюдаютъ одновременно изъ двухъ пунктовъ на землѣ, a и b. Для наблюдателя въ точкѣ a Венера пройдетъ по линіи CD, а для наблюдателя въ точкѣ b эта линія будетъ EF. Длины этихъ линій, равно какъ и разстояніе AB между ними, что̀ именно и является самымъ важнымъ,—можно опредѣлить весьма точно, наблюдая время, употребляемое

http://mathesis.ru

Венерой для прохожденія линій CD и EF. Такъ какъ угловыя скорости движенія земли и Венеры по ихъ орбитамъ извѣстны, то изъ продолжительности прохожденія можно опредѣлить длину линіи CD, а отсюда и разстояніе ея отъ центра диска. То же самое имѣетъ мѣсто и для EF; такимъ образомъ, разстояніе AB можетъ быть выражено въ частяхъ діаметра солнца. Допустимъ, что оно равно $^1/_{90}$ діаметра (на рисункѣ AB для большей ясности взято гораздо больше). Изъ подобія треугольниковъ съ основаніями AB и ab, съ вершинами въ c (Венера) слѣдуетъ, что разстояніе Ве-

Рис. 292



Наблюденіе прохожденія Венеры.

неры отъ солнца относится къ ея разстоянію отъ земли, какъ AB относится къ ab, а именно, какъ 7 : 3. Если, напримѣръ, разстояніе между наблюдателями въ a и b равно 900 милямъ, то линія AB равна 2100 милямъ. Такимъ образомъ, $^1/_{90}$ діаметра солнца равняется 2100 милямъ; слѣдовательно, длина всего его діаметра равна приблизительно 189000 милямъ. Зная теперь діаметръ солнца и его угловую величину (около $^1/_2{}^0$), нетрудно опредѣлить его разстояніе, которое составляетъ почти ровно 20000000 миль.

Новѣйшія измѣренія скорости свѣта (§§ 287—288) дали новое средство для опредѣленія абсолютныхъ величинъ разстояній въ нашей солнечной системѣ. Опредѣляя скорость свѣта изъ наблюденій затменій спутниковъ Юпитера, Ремеръ (§ 283) предполагалъ извѣстной скорость земли. Можно, наоборотъ, вычислить скорость земли, исходя изъ извѣстной скорости свѣта. Отсюда получается разстояніе земли отъ солнца, совпадающее съ вышеприведеннымъ числомъ.

Брадлей (§ 284), опредѣляя скорость свѣта, также считалъ скорость земли извѣстной. И въ этомъ случаѣ можно вычисленіемъ въ обратномъ порядкѣ провѣрить указанное число.

310. Въ таблицѣ на слѣдующей страницѣ сопоставлены главнѣйшія величины тѣлъ солнечной системы.

Большая часть приведенныхъ въ таблицѣ чиселъ не нуждается въ дальнѣйшихъ объясненіяхъ. Нѣкоторое затрудненіе представляетъ опредѣленіе продолжительности одного оборота планеты вокругъ оси. Дѣло сводится къ тому, чтобы, намѣтивъ опредѣленную точку на поверхности, распознать ее снова, когда планета совершитъ полный оборотъ вокругъ оси. Пятна на солнцѣ непостоянны и, повидимому, обладаютъ собственнымъ движеніемъ по поверхности солнца, такъ какъ на экваторѣ они совершаютъ полный оборотъ въ 25 сутокъ, а подъ 45° сѣверной и южной широты приблизительно въ 28 сутокъ. Ближе къ полюсамъ пятна наблюдаются рѣдко.

У Меркурія и Венеры время вращенія около оси равно времени оборота около

http://mathesis.ru

солнца, т. е. они постоянно обращены къ солнцу одной стороной, какъ открылъ нѣсколько лѣтъ тому назадъ Скіапарелли, между тѣмъ какъ раньше считали, что наблюденія даютъ для времени одного оборота приблизительно сутки.

	Знакъ.	Разстояніе отъ солнца. (Для земли = 1)	Время обращенія въ годахъ.	Время оборота около оси въ земныхъ суткахъ.	Діаметръ экватора въ миляхъ.	Масса. (Земля = 1)	Плотность. (Вода = 1)	Величина силы тяжести на поверхности. (Для земли = 1)
Солнце	☉	—	—	25—28	184000	320000	1·4	27·5
Меркурій . . .	☿	0·39	0·24	обращ.	650	0 08	7·7	0·5
Венера	♀	0·72	0·62	обращ.	1640	0 8	5·2	0·9
Земля	♁	1	1	1	1720	1	5·6	1
Марсъ	♂	1·5	1·9	1 02	930	0·1	4·1	0·4
Юпитеръ . . .	♃	5·2	12	0·41	19200	310	1·3	2·6
Сатурнъ . . .	♄	9·5	30	0·43	17000	92	0·7	1·1
Уранъ	♅	19·2	82	?	7300	15·8	1·0	0·9
Нептунъ . . .	♆	30	165	?	7600	18·5	1·2	1·0

У двухъ большихъ планетъ, Юпитера и Сатурна, время одного оборота равно приблизительно 10 часамъ. Въ нихъ замѣчается значительное сжатіе, обусловленное большой центробѣжной силой; оно составляетъ у Юпитера $^1/_{16}$ діаметра, а у Сатурна $^1/_{10}$.

При опредѣленіи величины силы тяжести на поверхности свѣтила принимается во вниманіе, конечно, и масса и разстояніе отъ центра (радіусъ).

Въ заключеніе можно замѣтить, что по величинѣ планеты распадаются на двѣ группы: на четыре меньшихъ, находящихся ближе къ солнцу, и четыре бо̀льшихъ, отстоящихъ дальше отъ него.

311. У всѣхъ планетъ, за исключеніемъ первыхъ двухъ, Меркурія и Венеры, есть луны или спутники. Марсъ имѣетъ двухъ чрезвычайно маленькихъ спутниковъ, которые были открыты Голломъ въ Вашингтонѣ. Ихъ діаметры достигаютъ всего 1—2 миль. Отъ Марса они отстоятъ лишь на 1270 и 3180 миль, а времена ихъ обращенія составляютъ $7^1/_2$ и $30^1/_3$ часовъ. У Юпитера пять лунъ. Обыкновенно считаютъ, что первыя четыре открыты Галилеемъ, наблюдавшимъ ихъ въ январѣ 1610 года. Но есть основанія думать, что онѣ наблюдались уже въ декабрѣ 1609 года въ Ансбахѣ придворнымъ астрономомъ Симономъ Маріусомъ (Майромъ). Каждая изъ этихъ четырехъ лунъ больше нашей луны и отстоитъ отъ своей планеты дальше. Первый и четвертый изъ этихъ спутниковъ отстоятъ отъ Юпитера на 66000 и 252000 миль, а времена ихъ обращенія равны 1 суткамъ $18^1/_2$ часамъ и 16 суткамъ $16^1/_2$ часамъ. Пятый спутникъ Юпитера былъ открытъ въ 1892 г. Барнардомъ на Ликской обсерваторіи (на горѣ Гамильтонъ въ Калифорніи). Его разстояніе отъ Юпитера равно 23000 миль, а время обращенія — 12 часамъ. У Урана четыре спутника на разстояніяхъ отъ 28000 до 84000 миль отъ него и съ временами обращенія отъ $2^1/_2$ до $13^1/_2$ сутокъ. У Нептуна одинъ спутникъ на разстояніи 48000 миль и съ періодомъ обращенія въ 5 сут. 21 ч.

http://mathess.ru

Наибольшимъ количествомъ спутниковъ обладаетъ Сатурнъ, который сверхъ колецъ имѣетъ еще 8 лунъ. Числа, характеризующія эту систему, приведены въ слѣдующей таблицѣ:

	Разстояніе отъ центра въ миляхъ	Времена обращенія		
		Сут.	Час.	Мин.
Поверхность Сатурна	8500	—	10	14
Первое кольцо, внутренній край	10300	—	5	20
Граница между 1-мъ и 2-мъ кольцомъ . . .	12300	—	6	57
Второе кольцо, внѣшній край	16800	—	11	6
Третье кольцо, внутренній край	17200	—	11	30
Третье кольцо, внѣшній край	19400	—	13	46
1-ый спутникъ, Мимасъ	27000	—	22	37
2-ой „ Энцеладъ	35000	1	8	53
3-ій „ Ѳетида	43000	1	21	18
4-ый „ Діона	56000	2	17	41
5-ый „ Рея	78000	4	12	25
6-ой „ Титанъ	181000	15	22	41
7-ой „ Гиперіонъ	219000	21	7	8
8-ой „ Япетъ	512000	79	7	54

Времена обращеній колецъ найдены не изъ наблюденій, а путемъ вычисленія. Именно, разстоянія спутниковъ и времена ихъ обращеній находятся въ опредѣленныхъ отношеніяхъ согласно третьему закону Кеплера. Понятно, что кольца также должны слѣдовать этому закону. Еслибъ они обладали бóльшей скоростью, чѣмъ слѣдовало бы по этому закону, то центробѣжная сила унесла бы ихъ дальше отъ планеты. Еслибы, наоборотъ, они имѣли меньшую скорость, то они приблизились бы къ планетѣ. Кольцо можетъ существовать лишь въ томъ случаѣ, если оно обладаетъ скоростью, соотвѣтствующей его разстоянію. Въ настоящее время доказано, что эти кольца представляютъ не сплошную массу, а скопленія огромнаго количества мелкихъ тѣлъ. Только этимъ и возможно объяснить то обстоятельство, что кольца, съ одной стороны, бросаютъ тѣнь на планету, а съ другой—сквозь нихъ видны неподвижныя звѣзды. Со времени открытія колецъ, т. е. за нѣсколько послѣднихъ столѣтій, внутренній край кольца, повидимому, приблизился къ планетѣ. Если это приближеніе будетъ продолжаться, то нѣтъ ничего невѣроятнаго въ томъ, что вслѣдствіе столкновенія кольца съ планетой можетъ произойти катастрофа, размѣры которой трудно и предсказать.

Плоскости орбитъ спутниковъ Сатурна совпадаютъ съ плоскостью кольца. Одна лишь орбита 6-го спутника (Титана) замѣтно наклонена къ плоскости кольца и образуетъ съ нимъ уголъ въ $7^1/_2{}^0$.

312. Прежде чѣмъ разстаться съ планетной системой, взглянемъ на нее мысленно черезъ лучшій современный телескопъ, чтобы увидѣть, не встрѣтится ли тамъ гдѣ-нибудь нѣчто такое, что имѣло бы сходство съ состояніемъ поверхности земли.

Прежде всего, что касается луны, то уже Галилей наблюдалъ на видимой части ея поверхности горы (§ 142), кольцеобразныя возвышенности діаметромъ въ 30 миль и безчисленное множество болѣе мелкихъ кратеровъ діаметромъ до 400 *м*. Галилей

http://mathesis.ru

тотчасъ же указалъ и пріемъ для опредѣленія высоты этихъ горъ по длинѣ бросаемыхъ ими тѣней. Въ настоящее время существуютъ весьма подробныя лунныя карты со всѣми возвышенностями, даже болѣе того—мы располагаемъ такими превосходными рельефными картами поверхности луны, что остается желать, чтобы карты поверхности земли не уступали имъ. Далѣе, на поверхности луны обнаружены борозды или расщелины (трещины, рис. 150), которыя замѣтны не при всякомъ освѣщеніи. По высотѣ лунныя горы только немного уступаютъ горамъ на землѣ. А такъ какъ луна гораздо меньше земли, то въ такой же мѣрѣ ея горы относительно выше, чѣмъ неровности земли. Къ этому присоединяется еще то, что горы на лунѣ имѣютъ болѣе рѣзкія очертанія, чѣмъ на землѣ.

Послѣднее обстоятельство объясняется тѣмъ, что на лунѣ отсутствуетъ вода, такъ что отсутствуетъ и ея разрушающее и нивелирующее дѣйствіе. Въ то время, когда зрительная труба только входила въ употребленіе, темныя равнины на лунѣ были названы „морями“; воды, однако, на лунѣ нѣтъ. Еслибъ луна обладала атмосферой подобно землѣ, то она разсѣевала бы дневной свѣтъ и онъ освѣщалъ бы тѣни отъ горъ, такъ что онѣ казались бы сѣрыми, а не черными, какими мы ихъ видимъ на самомъ дѣлѣ. Сверхъ того звѣзда, закрываемая луною, не исчезала бы за дискомъ луны мгновенно и не появлялась бы такъ же мгновенно; вслѣдствіе преломленія свѣта въ атмосферѣ движеніе звѣзды у самаго края луны замедлялось бы на нѣсколько мгновеній. Вѣроятно также, что звѣзда при этомъ слегка мѣняла бы свой цвѣтъ. Если на лунѣ и есть нѣкоторое количество воздуха, то онъ долженъ быть въ очень разрѣженномъ состояніи; чтобы онъ могъ оставаться незамѣтнымъ, его плотность не должна превосходить $^1/_{300}$ плотности нашей атмосферы.

Такъ какъ вода и воздухъ отсутствуютъ на лунѣ, то не можетъ быть рѣчи о какой-либо жизни на ней, какъ на земной поверхности. Даже при помощи самыхъ совершенныхъ трубъ нельзя замѣтить ничего, что могло бы указывать на что-нибудь подобное. Поверхность луны, повидимому, пребываетъ въ состояніи полной неподвижности. Иногда какъ будто замѣчали какія-то измѣненія въ отдѣльныхъ кратерахъ, но и это сомнительно.

Венера представляется совершенно окутанной туманомъ (облаками), такъ что на ея поверхности ничего нельзя увидѣть. То же самое нужно сказать и о Меркуріи.

Зато условія для наблюденія нашего сосѣда съ другой стороны, Марса, весьма благопріятны, такъ какъ въ то время, когда онъ къ намъ ближе всего, онъ обращенъ къ намъ освѣщенной стороной. Но то, что мы видимъ на поверхности этой планеты, настолько своеобразно и въ такой мѣрѣ отличается отъ условій земли, что Марсъ до сихъ поръ является для насъ загадкой.

На сѣверномъ и южномъ полюсахъ Марса уже давно были замѣчены болѣе свѣтлыя пятна, которыя становятся больше на томъ полюсѣ, гдѣ зима, и уменьшаются на томъ, гдѣ лѣто. Сейчасъ же, конечно, является мысль о массахъ льда и снѣговъ у полюсовъ земли. Но тутъ же немедленно возникаетъ и затрудненіе. Если принять во вниманіе, что на этомъ, значительно большемъ, разстояніи отъ солнца его тепловое дѣйствіе почти вдвое слабѣе, чѣмъ на землѣ, то, какъ можно было бы думать, на Марсѣ такъ холодно, что вода должна быть тамъ повсюду въ замерзшемъ состояніи. Можно впрочемъ допустить, что Марсъ получилъ большій запасъ

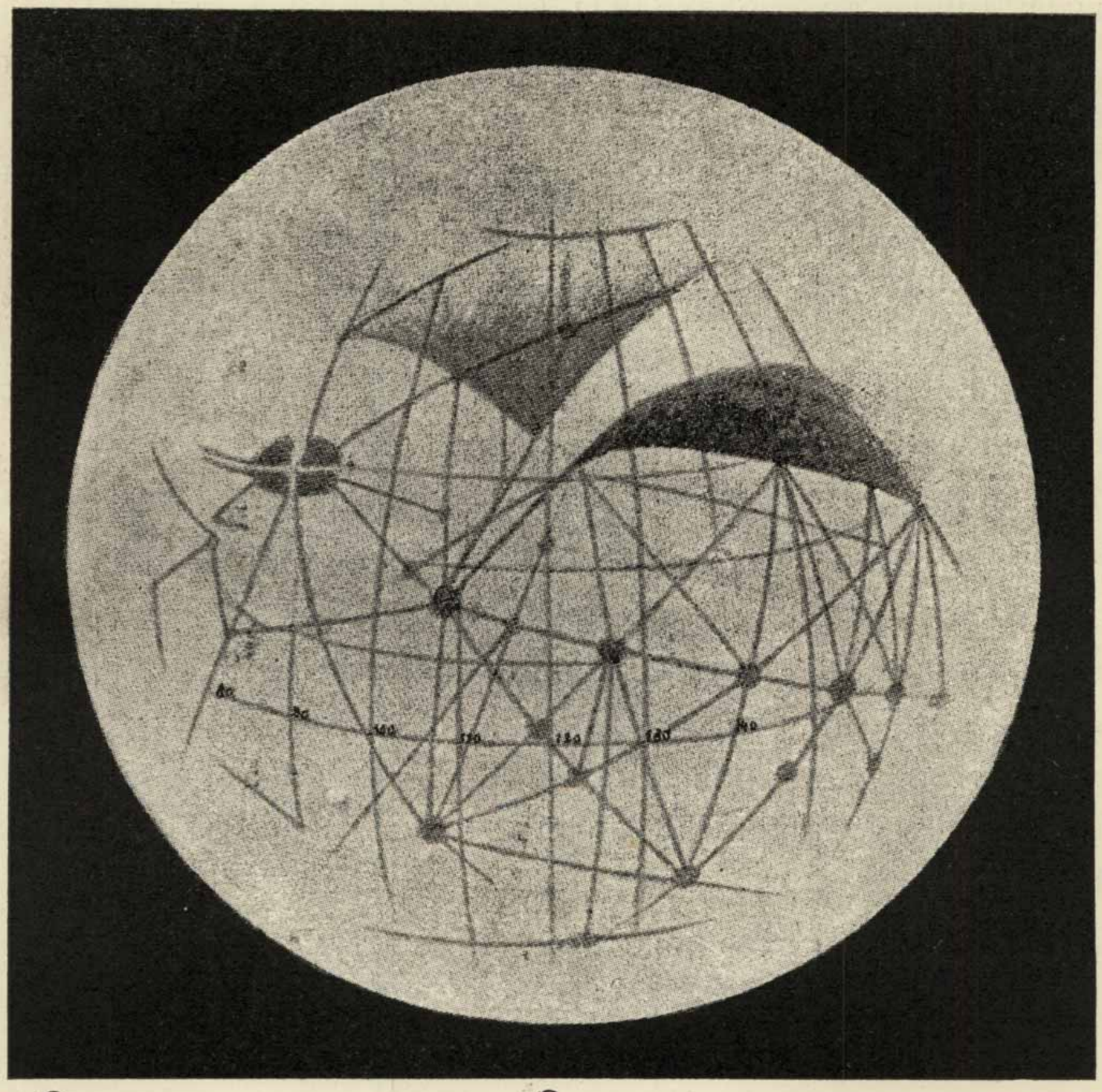
http://mathesis.ru

теплоты, чѣмъ земля, напримѣръ, вслѣдствіе столкновенія съ другимъ небольшимъ тѣломъ, или что этотъ снѣгъ — не замерзшая вода, а какая-либо другая жидкость.

Нетрудно было бы понять и то, что болѣе темныя пространства, которыя раньше принимались за моря, нѣсколько измѣняютъ форму и величину; такъ какъ они не представляютъ одного сплошного бассейна, то уровень воды въ этихъ моряхъ могъ бы временами то повышаться, то понижаться. Возможно, наконецъ, что изображенія ихъ границъ размываются облаками.

Но поверхность Марса, помимо этихъ измѣненій, представляетъ въ высшей степени удивительное зрѣлище (рис. 293). Прямолинейные морскіе берега и совершенно прямолинейныя рѣки неизвѣстны на землѣ. Эти прямолинейныя рѣки на Марсѣ назвали

Рис. 293



Планета Марсъ.

каналами; нѣкоторые думали, что они сооружены высоко стоящими въ умственномъ отношеніи существами. Но если принять въ соображеніе, что „каналы“ имѣютъ много миль въ ширину, то эта высокая интеллигентность упомянутыхъ существъ представляется намъ непонятной. Тогда обратились къ другимъ объясненіямъ, напримѣръ, къ тому, что эти линіи представляютъ собой трещины въ почвѣ или во льду. Дѣлались также догадки, что это суть полосы, покрытыя растительностью, направленіе которыхъ обусловливается водопроводными приспособленіями, сооруженіями разумныхъ существъ. Мы видимъ, такимъ образомъ, что здѣсь представляется широкое поле для полета фантазіи, но разумъ мало удовлетворяется подобными предположеніями.

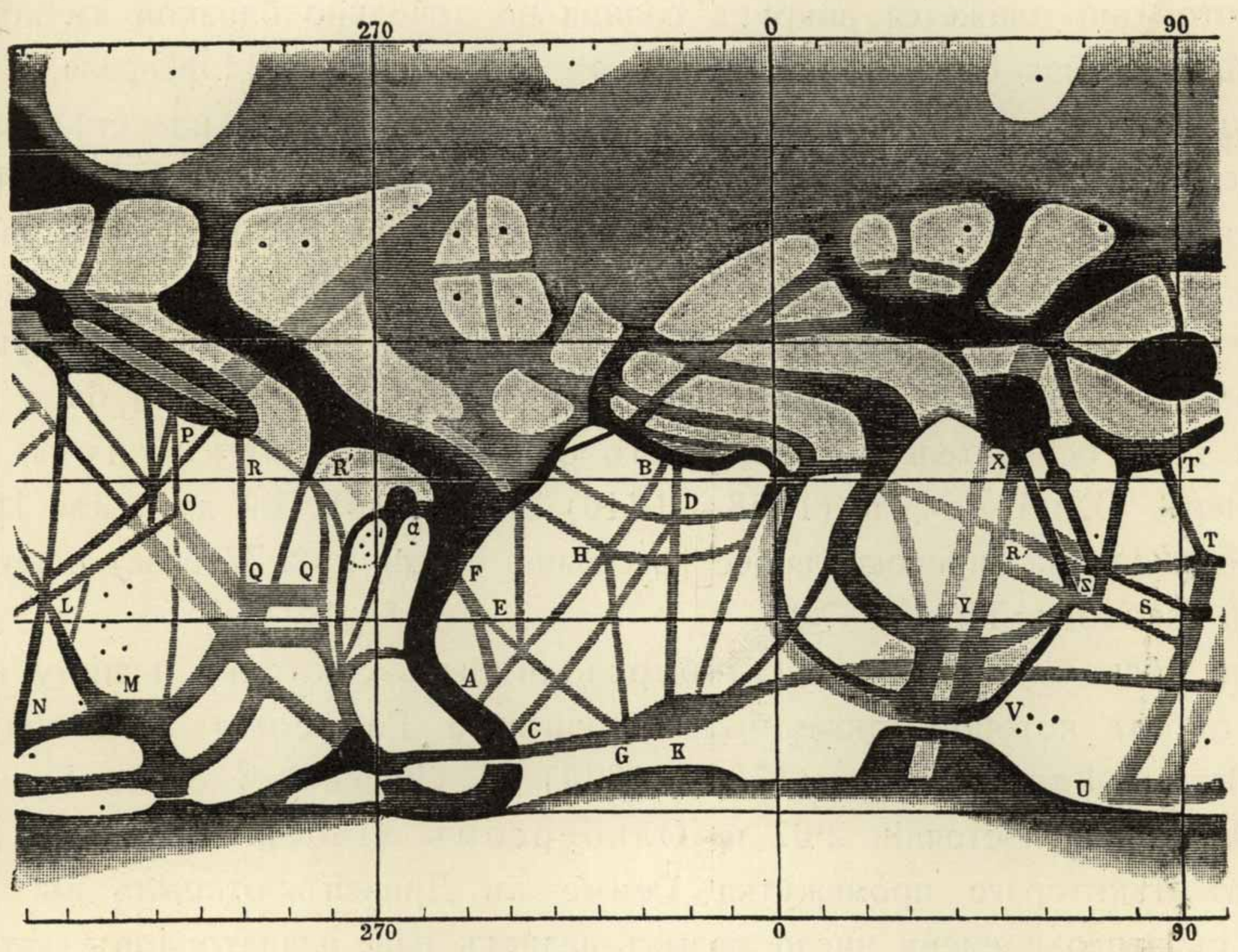
Объясненіе этого значительно осложняется своеобразнымъ явленіемъ, которое

http://mathesis.ru

обыкновенно называютъ раздвоеніемъ каналовъ. Оно наступаетъ въ періоды равноденствія и состоитъ въ томъ, что взамѣнъ одного канала появляется два параллельныхъ, раздѣленныхъ полосами въ нѣсколько миль шириною (рис. 294). Въ послѣднее время этими явленіями усиленно занимаются, но до сихъ поръ не удалось найти сколько-нибудь удовлетворительнаго объясненія имъ.

О поверхности Юпитера мы знаемъ очень мало. На ней замѣчается нѣсколько темныхъ параллельныхъ полосъ, мѣняющихъ свой видъ (рис. 149). Онѣ производятъ впечатлѣніе слоевъ облаковъ.

Рис. 294



Раздвоеніе каналовъ на Марсѣ.

313. Кеплеръ въ молодости много размышлялъ относительно разстояній планетъ отъ солнца и нашелъ (§ 72), что въ промежуткахъ между шарами, построенными на орбитахъ планетъ, можно вписать пять правильныхъ многогранниковъ. Аналогичныя умозрѣнія можно встрѣтить и въ болѣе близкое къ намъ время. Такъ, профессоръ Тиціусъ (Тицъ) въ Виттенбергѣ обнародовалъ въ 1766 году слѣдующій законъ относительно разстояній планетъ отъ солнца, причемъ разстояніе Меркурія было обозначено числомъ 4:

Меркурій	$4 = 4$
Венера	$7 = 4 + 1 \times 3$
Земля	$10 = 4 + 2 \times 3$
Марсъ	$16 = 4 + 4 \times 3$
Юпитеръ	$52 = 4 + 16 \times 3$
Сатурнъ	$100 = 4 + 32 \times 3$

Позднѣе прибавился

Уранъ	$196 = 4 + 64 \times 3$

Этотъ законъ былъ потомъ формулированъ Боде (1747—1826) съ нѣсколько измѣненными числами (8, $8+3\times2$, $8+3\times2^2$, $8+3\times2^3$ и т. д.), которыя вѣрнѣе

http://mathesis.ru

выражаютъ дѣйствительныя отношенія. Поэтому его иногда называютъ также закономъ Боде. Хотя этотъ законъ выражаетъ случайное совпаденіе, а не физическую закономѣрность, тѣмъ не менѣе онъ послужилъ поводомъ къ поискамъ новой планеты на разстояніи $4+8\times3=28$ (между Марсомъ и Юпитеромъ). Образовалось даже общество астрономовъ, которые въ 1800 году подѣлили между собою зодіакъ съ цѣлью разыскать новую планету.—Какъ разъ въ это время Піацци въ Палермо, не принадлежавшій, впрочемъ, къ упомянутому обществу, открылъ въ первый день новаго столѣтія (1-го января 1801 года) небольшое тѣло, которое имѣло собственное движеніе и сначала было принято имъ за комету. Однако, впослѣдствіи оказалось, что оно движется вокругъ солнца по довольно близкой къ кругу орбитѣ. Болѣзнь заставила Піацци прервать свои наблюденія съ 11 февраля, а такъ какъ Боде получилъ отъ него извѣстіе лишь въ мартѣ, когда эта планета уже исчезла въ лучахъ солнца, то невозможно было точно опредѣлить ея орбиту. Слѣдующею весною ее пришлось бы, такъ сказать, открывать сызнова, еслибы какъ разъ въ это время молодой Гауссъ (II, § 24) не открылъ новаго способа опредѣленія элементовъ орбитъ планетъ, при помощи котораго онъ могъ вывести ея будущія положенія на основаніи многочисленныхъ наблюденій Піацци. Планета была разыскана 31 декабря 1801 основателемъ упомянутаго общества, Цахомъ въ Готѣ, а въ слѣдующій вечеръ Ольберсомъ (1758—1840) въ Бременѣ. Ей дали имя Цереры; ея разстояніе отъ солнца (превосходящее разстояніе земли въ 2·77 раза) хорошо согласовалось съ закономъ Тиціуса.

Спустя нѣсколько мѣсяцевъ Ольберсъ открылъ еще одну планету на разстояніи 2·77, орбита которой также была прочислена Гауссомъ. Она получила имя Паллады. Затѣмъ Гардингомъ (1765—1834) въ Лиліенталѣ близъ Бремена была открыта Юнона на разстояніи 2·67 и Ольберсомъ (1807)—Веста на разстояніи 2·36. Послѣ нѣкотораго промежутка Генке въ Дризенѣ открылъ въ 1845 году Астрею, и съ этого времени число малыхъ планетъ или планетоидовъ (астероидовъ) стало рости изъ года въ годъ, такъ что въ настоящее время ихъ насчитываютъ свыше 500. Всѣ онѣ до того малы, что трудно опредѣлить точно ихъ діаметры. Даже самыя крупныя среди нихъ (Церера, Паллада, Веста) имѣютъ въ діаметрѣ, вѣроятно, только отъ 30 до 40 миль.

Среднее разстояніе астероидовъ колеблется между двойнымъ и четвернымъ разстояніемъ земли. Среди нихъ совершенно особнякомъ стоитъ Эросъ, открытый Виттомъ въ 1898 году въ Берлинѣ. Въ то время какъ орбиты астероидовъ лежатъ въ промежуткѣ между орбитами Марса и Юпитера, орбита Эроса лежитъ между орбитами земли и Марса. Въ перигеліи онъ приближается къ землѣ на разстояніе 2·7 милліоновъ миль. Орбиты астероидовъ частью сильно наклонены къ эклиптикѣ (Церера $10^1/_2{}^0$, Паллада $34^3/_4{}^0$); вообще, орбиты этого роя малыхъ небесныхъ тѣлъ до того перепутаны между собой, что будь онѣ твердыми кольцами, ни одного изъ нихъ нельзя было бы удалить безъ того, чтобы не увлечь за нимъ и остальныхъ.

Ольберсъ и другіе высказали предположеніе, что астероиды суть не что иное, какъ обломки разрушившейся планеты, которая нѣкогда помѣщалась между Марсомъ и Юпитеромъ. Въ такомъ случаѣ всѣ они должны были бы имѣть общую узловую точку и различные эллипсы, которые были описаны изъ этой точки отдѣльными тѣлами, должны были бы снова сойтись въ ней. Свои орбиты они должны были бы

http://mathesis.ru

сохранить до тѣхъ поръ, пока возмущающія дѣйствія другъ на друга и со стороны планетъ не заставили бы ихъ избрать новые пути. Во всякомъ случаѣ, въ настоящее время ихъ орбиты слишкомъ разошлись и никакой общей точки не имѣютъ; если даже согласиться съ тѣмъ, что астероиды представляютъ обломки когда-то существовавшей большой планеты, то со времени катастрофы, происшедшей съ нею, необходимо долженъ былъ пройти огромный періодъ времени. — Согласно другому воззрѣнію, Юпитеръ, раньше явившійся результатомъ скопленія вещества въ этомъ мѣстѣ, помѣшалъ образованію большой планеты изъ вещества астероидовъ. Нѣкоторые, наконецъ, считаютъ, что рой астероидовъ представляетъ собою кольцо солнца, подобное кольцу Сатурна.

314. Замѣчательно, что Ньютонъ очень поздно выяснилъ, что и кометы подчиняются тѣмъ же законамъ, которымъ подчинены остальныя небесныя тѣла.

Тихо Браге нашелъ изъ своихъ измѣреній, что кометы находятся такъ далеко отъ земли, что ихъ невозможно считать атмосферными явленіями и что онѣ должны быть небесными тѣлами. Кеплеръ путемъ вычисленій пришелъ къ результату, что ихъ орбиты должны быть прямолинейны. Большая комета 1680 года была предметомъ тщательныхъ наблюденій, особенно со стороны Флэмстида (§ 284), полагавшаго, что комета, которая сначала была видима съ одной стороны солнца, и комета, которая затѣмъ была видима съ другой стороны солнца, была одна и та же. Онъ вступилъ относительно этого въ переписку съ Ньютономъ; но послѣдній, къ удивленію, оставался при томъ мнѣніи, что ея орбита прямолинейна. Дёрфель (1643—1688) вычислилъ орбиту этой кометы и нашелъ, что она представляетъ параболу и что комета въ своемъ движеніи слѣдуетъ Кеплерову закону площадей. Наконецъ, въ 1686 г. Ньютонъ пришелъ къ убѣжденію, что движеніе кометъ также подчинено закону всемірнаго тяготѣнія. Вслѣдъ за этимъ онъ показалъ, что подъ вліяніемъ солнца всякое тѣло должно двигаться по одному изъ коническихъ сѣченій, въ фокусѣ котораго находится солнце, и что видъ и форма этого коническаго сѣченія будутъ вполнѣ опредѣлены, если для даннаго момента извѣстны положеніе тѣла, его скорость и направленіе движенія.

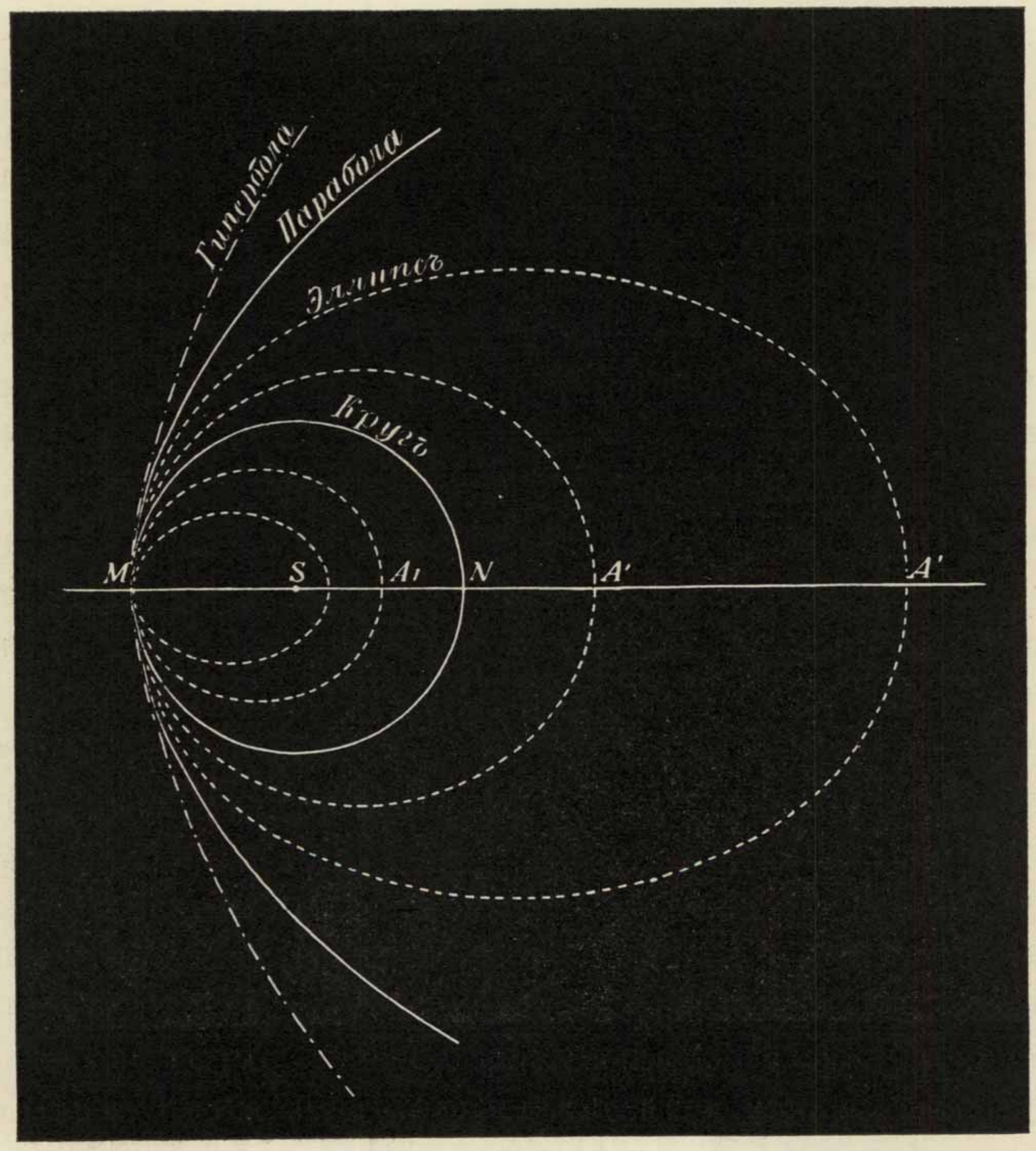
Для общаго обзора различныхъ орбитъ проще всего будетъ разсмотрѣть небесное тѣло въ тотъ моментъ, когда направленіе его движенія перпендикулярно къ линіи, соединяющей его съ солнцемъ, т. е. когда оно находится въ точкѣ M (рис. 295). Если скорость въ этой точкѣ такова, что центробѣжная сила равна силѣ притяженія, то орбита будетъ кругомъ MN. Если скорость меньше этого, то тѣло нѣсколько приблизится къ солнцу и опишетъ эллипсъ MA_1, такъ что A_1 будетъ перигеліемъ, а M будетъ афеліемъ. Если же, напротивъ, скорость будетъ больше, то тѣло удалится отъ солнца и опишетъ путь MA' или MA'', такъ что M будетъ перигеліемъ, а A' или A'' будетъ афеліемъ. Чѣмъ больше скорость въ точкѣ M, тѣмъ дальше отстоитъ афелій и тѣмъ скорость въ немъ меньше, такъ какъ дѣйствіе солнца на движущееся тѣло при переходѣ отъ перигелія къ афелію состоитъ въ замедленіи тѣла. Напротивъ, отъ афелія къ перигелію дѣйствіе солнца на тѣло ускоряетъ движеніе и тѣло какъ бы падаетъ по направленію къ солнцу, но только не по прямой линіи. Если скорость въ точкѣ M еще больше, то орбита будетъ эллипсомъ съ безконечно удаленнымъ афеліемъ, т. е. параболою. Еще бо̀льшая скорость въ точкѣ M даетъ гиперболу. Въ послѣднихъ двухъ случаяхъ наблюденію доступна лишь небольшая часть орбиты

http://mathesis.ru

вблизи солнца, такъ что трудно опредѣлить, есть ли орбита парабола, представляющая переходъ отъ эллипса къ гиперболѣ, или же она есть гипербола.

Дёрфель опредѣлилъ орбиту кометы 1680 года и нашелъ, что она параболическая, такъ что эта комета никогда больше не вернется къ солнцу. Ньютонъ пришелъ къ тому же результату. Тѣмъ не менѣе нѣтъ ничего невозможнаго въ томъ, что эта комета описываетъ весьма растянутый эллипсъ приблизительно въ 574 года. Если это такъ, то эта же комета была видима въ 44 г. до Р. Х., въ 531 и 1106 гг. по Р. Х. и въ 2255 году она должна опять вернуться.

Рис. 295



Видъ орбиты небеснаго тѣла опредѣляется его скоростью въ точкѣ *M*.

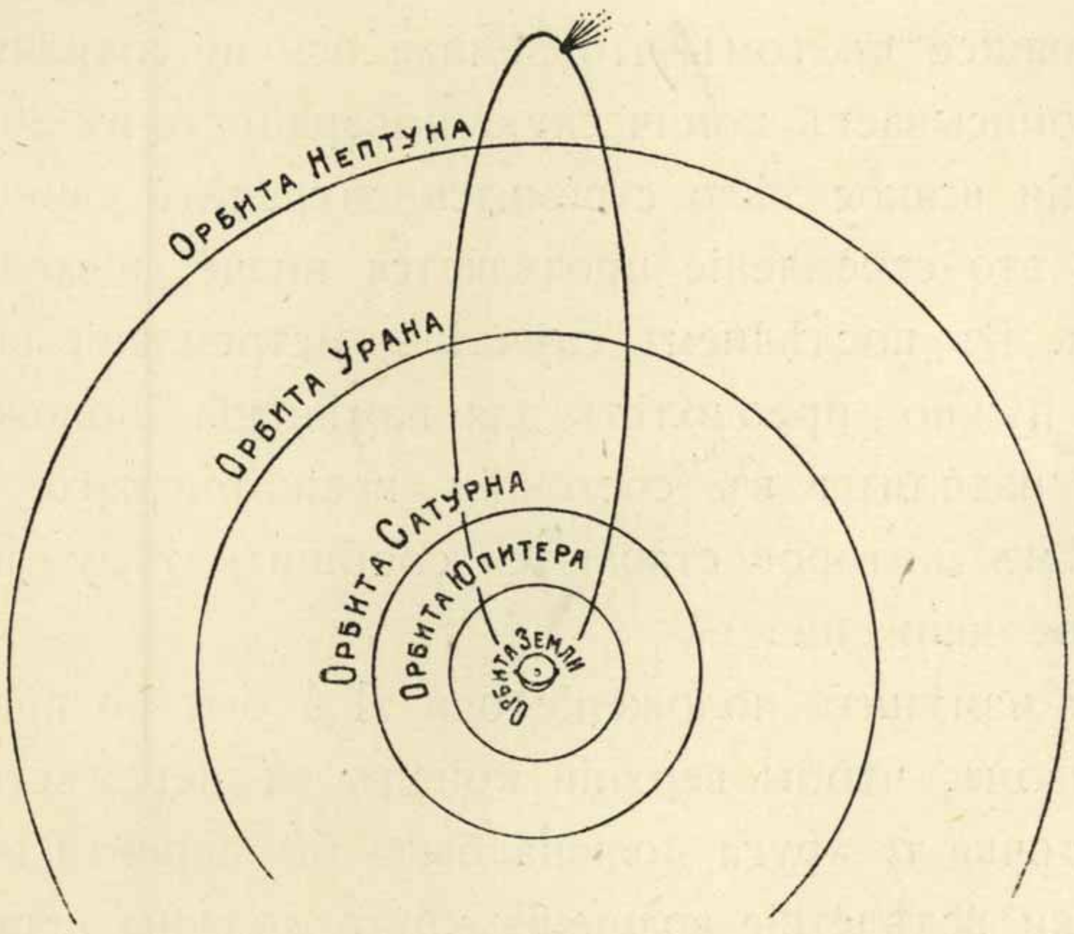
Галлей вычислилъ орбиту кометы, появившейся въ 1682 году, и нашелъ, что она эллиптическая и что это небесное тѣло уже неоднократно появлялось раньше. Галлей предсказалъ возвращеніе этой кометы для 1758—1759 г., что и сбылось. Въ 1835 г. она снова появилась; такимъ образомъ, „комета Галлея“ является первой кометой съ несомнѣнно эллиптической орбитой (рис. 296). Наименьшее разстояніе ея отъ солнца равно 0·59, а наибольшее — 36·4 разстоянія земли. Въ наименьшемъ разстояніи отъ солнца она ближе къ нему, чѣмъ Венера, въ наибольшемъ — дальше Нептуна. Скорость ея достигаетъ 17 миль въ секунду въ перигеліи и $^1/_3$ мили въ афеліи. По всѣмъ вѣроятіямъ, это та самая комета, которую видѣли въ 11 г. до Р. Х.

http://mathesis.ru

незадолго до смерти Агриппы. Вполнѣ увѣреннымъ, что комета движется по эллипсу, можно быть лишь въ томъ случаѣ, если ее наблюдали вблизи солнца нѣсколько разъ. Это имѣло мѣсто въ отношеніи приблизительно дюжины кометъ; но всѣ онѣ, за исключеніемъ кометы Галлея, невидимы для простого глаза. Между наблюдавшимися по одному разу есть кометы, въ томъ числѣ большія и яркія, имѣющія періодъ обращенія свыше 100 лѣтъ. Есть и такія, которыя пересѣкли солнечную систему по гиперболической орбитѣ и которыя никогда больше не возвратятся къ солнцу.

Плоскости кометныхъ орбитъ занимаютъ иное положеніе, чѣмъ плоскости планетныхъ. Часто онѣ перпендикулярны къ послѣднимъ. Равнымъ образомъ и направленіе ихъ движенія бываетъ иное; въ нѣкоторыхъ случаяхъ оно даже прямо противоположно направленію, въ которомъ движутся планеты. Если, далѣе, принять во вниманіе, что не только солнце, но и большія планеты оказываютъ притягательное дѣйствіе на кометы, такъ что орбиты послѣднихъ могутъ значительно измѣняться, когда онѣ проходятъ вблизи планетъ, то можно признать правильнымъ мнѣніе, что кометы являются чуждыми тѣлами въ солнечной системѣ, которыя на своемъ пути по міровому пространству попадаютъ подъ дѣйствіе притяженія солнца и вслѣдствіе этого должны двигаться около солнца по одному изъ коническихъ сѣченій. Кометы, вообще говоря, должны двигаться по гиперболамъ, такъ какъ приходятъ изъ безконечно удаленныхъ мѣстъ. Но если случится, что Юпитеръ или другая планета измѣнитъ путь кометы, то послѣдній можетъ стать эллиптическимъ и комета уже будетъ двигаться въ солнечной системѣ до тѣхъ поръ, пока Юпитеръ или другая планета снова не измѣнитъ ея орбиты и не направитъ кометы, такимъ образомъ, опять въ міровое пространство. Послѣднее произошло, напримѣръ, съ кометой Лекселля въ 1781 г.; она описала вокругъ солнца замкнутый путь, но затѣмъ снова подошла къ Юпитеру слишкомъ близко.

Рис. 296



Галлеева комета.

Наблюдали также иногда, что комета распадалась на двѣ — три болѣе или менѣе отдѣльныхъ кометъ, которыя въ концѣ концовъ дѣлались невидимыми. Въ такихъ случаяхъ вмѣсто кометы наблюдался впослѣдствіи обильный рой падающихъ звѣздъ, двигавшихся по орбитѣ кометы.

315. Въ своей книгѣ „Principia“ Ньютонъ разъяснилъ также нѣкоторыя астрономически-географическія соотношенія. Онъ показалъ, что сила тяжести должна убывать не только съ поднятіемъ надъ поверхностью земли, но также и въ томъ случаѣ, если мы станемъ опускаться внутрь земли, такъ какъ въ этомъ случаѣ часть ея массы, находящаяся надъ нами, дѣйствуетъ въ направленіи, прямо противоположномъ притяженію къ центру. Ньютонъ доказалъ, что сферическій слой не оказываетъ никакого

http://mathesis.ru

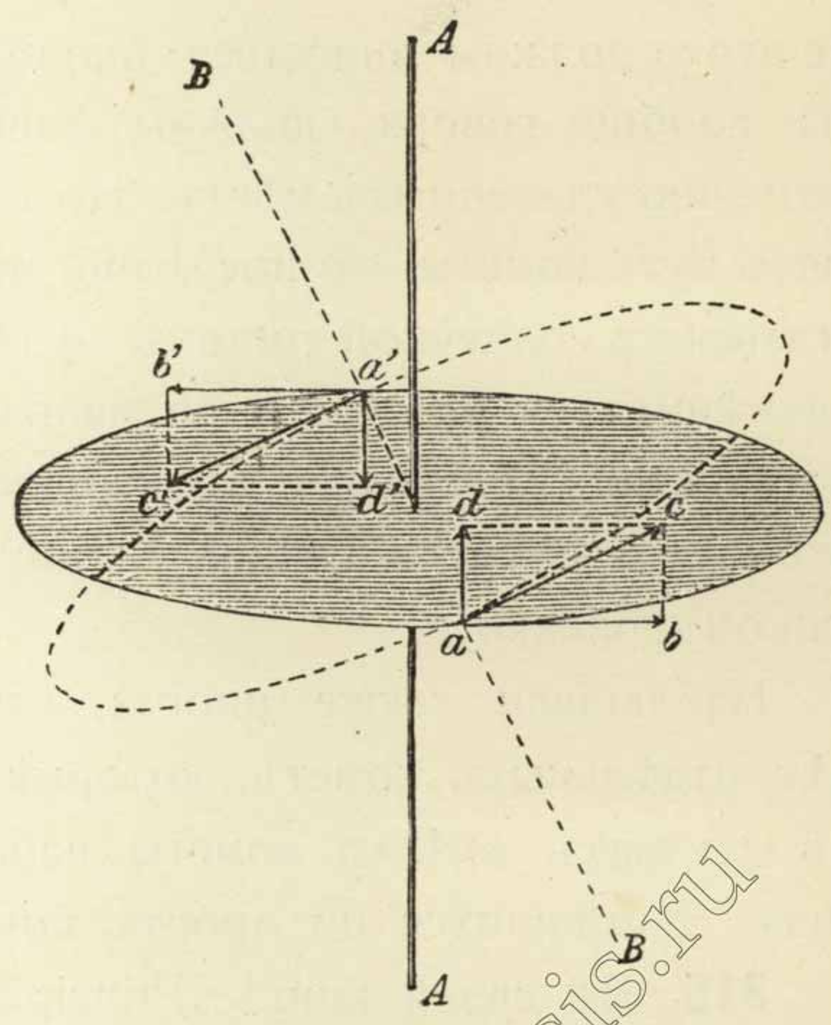
притяженія на массы, находящіяся внутри его. Поэтому, если мы находимся въ какой-либо точкѣ внутри земли, то мы испытываемъ притяженіе только со стороны такого шара, радіусъ котораго равенъ разстоянію этой точки отъ центра земли.

Въ § 276 мы видѣли, что Гюйгенсъ и Ньютонъ пришли къ различнымъ результатамъ въ отношеніи сжатія земли, такъ какъ Гюйгенсъ сосредоточилъ всю силу притяженія въ центрѣ, между тѣмъ какъ Ньютонъ распредѣлялъ ее равномѣрно по всему шару. Но и въ настоящее время еще нельзя сказать ничего опредѣленнаго относительно распредѣленія массъ въ землѣ, хотя достовѣрно извѣстно, что плотность земли въ среднемъ равна 5·5 (§ 306), тогда какъ поверхностные слои (вода, твердые пласты) обладаютъ гораздо меньшей плотностью.

316. Равнымъ образомъ была объяснена Ньютономъ и прецессія (§ 44)—явленіе, открытое Гиппархомъ и состоящее въ томъ, что земная ось не сохраняетъ своего направленія въ пространствѣ, но описываетъ коническую поверхность въ 26000 лѣтъ. Дѣло въ томъ, что въ силу инерціи всякое тѣло стремится сохранить свое положеніе. У быстро вращающагося тѣла это стремленіе проявляется иначе, нежели у тѣла, находящагося въ состояніи покоя. Въ послѣднемъ случаѣ это стремленіе выразится въ видѣ сопротивленія, которое нужно преодолѣть для измѣненія положенія тѣла. Въ томъ же случаѣ, когда тѣло находится въ состояніи вращательнаго движенія, это движеніе складывается съ тѣмъ, которое стараются сообщить тѣлу, и въ результатѣ получается совершенно новое движеніе.

Еслибы мы, напримѣръ, пожелали измѣнить положеніе оси AA быстро вращающагося круга (рис. 297) такимъ образомъ, чтобы верхній конецъ ея перемѣстился назад ~~внизу~~, а нижній конецъ — впередъ, то точка a круга должна была бы перейти въ d, а точка a' въ d'. Но такъ какъ эти точки вслѣдствіе вращенія круга должны перемѣститься въ b и въ b', то по правилу параллелограмма скоростей (§ 176) точка a перейдетъ въ c, а точка a' въ c'. Такимъ образомъ, кругъ займетъ наклонное положеніе, обозначенное пунктиромъ, а ось займетъ положеніе BB. Значитъ, если сила стремится повернуть ось, то ось перемѣщается не по направленію дѣйствія силы, а въ плоскости, перпендикулярной къ этому направленію.

Рис. 297



Сложеніе двухъ вращеній.

Если, напримѣръ, на полу вертится волчокъ въ наклонномъ положеніи, то можно было бы подумать, что онъ долженъ упасть, такъ какъ онъ опирается лишь на остріе. Однако, волчокъ не падаетъ. Верхній конецъ оси перемѣщается не внизъ, а въ сторону, описывая при этомъ окружность около вертикальной линіи. Чѣмъ больше волчокъ наклоняется, тѣмъ болѣе удивительнымъ кажется, что онъ не опрокидывается. Если ось волчка вращается въ кольцѣ (рис. 298), которое насажено на остріе o при помощи придатка n, то кольцо держится въ горизонтальномъ положеніи и, вмѣсто того чтобы упасть, вращается горизонтально вокругъ

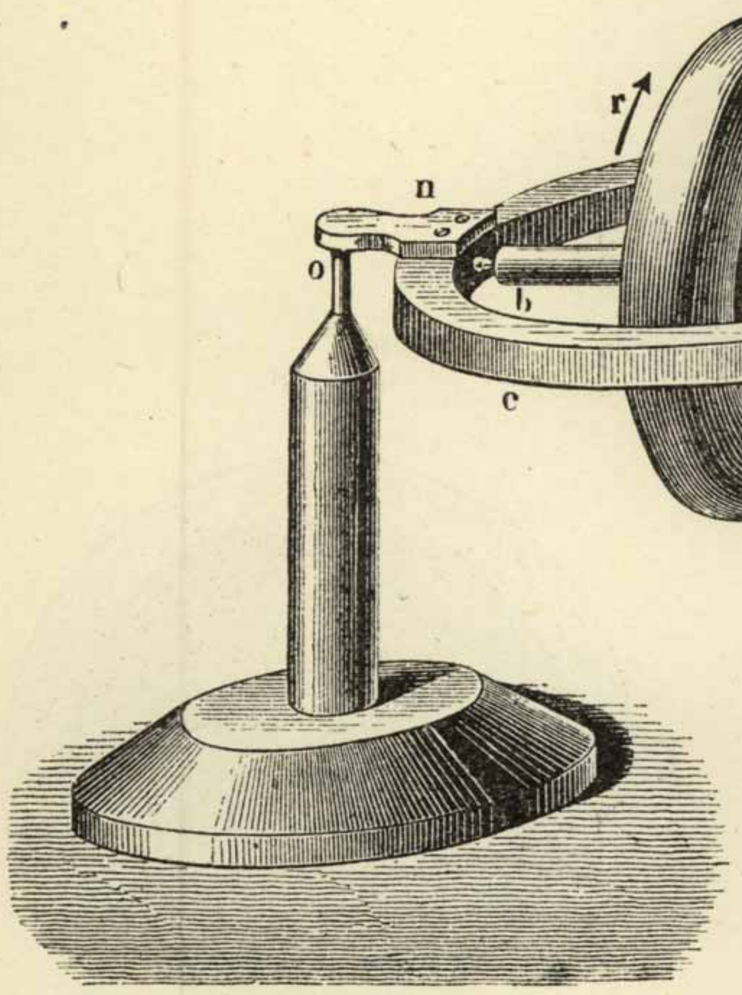
http://mathesis.ru

острія *o*. Если производить на кольцо давленіе книзу, то оно только ускоритъ свое движеніе. Если пытаться надавливаніемъ ускорить движеніе кольца, то оно поднимется надъ горизонтальнымъ положеніемъ; если же задерживать его, то оно опустится ниже[1]).

Такъ какъ земля сжата и такъ какъ эта чечевица—если можно такъ называть сплющенную землю—не лежитъ въ одной плоскости съ солнцемъ и луной, то послѣднія стремятся повернуть чечевицу въ свою плоскость, т. е. стремятся поставить ея ось перпендикулярно къ этой плоскости. Слѣдствіемъ этого является то, что ось перемѣщается не по тому направленію, по которому стремятся двинуть ее солнце и луна, а перпендикулярно къ этому направленію. Вслѣдствіе этого ось должна описывать коническую поверхность (ср. рис. 25).

Брадлей, какъ мы видѣли (§ 285), открылъ другое движеніе земной оси съ періодомъ въ 18½ лѣтъ. Оно находится въ связи съ соотвѣтствующими колебаніями лунной орбиты, которая не совпадаетъ съ земной орбитой, а составляетъ съ нею уголъ приблизительно въ 5°. Мы можемъ разсматривать землю и луну, какъ вращающуюся чечевицу, плоскость которой не вполнѣ совпадаетъ съ тою плоскостью, опредѣляемою притягательной силой солнца. Слѣдствіемъ этого является колебаніе плоскости лунной орбиты и вмѣстѣ съ тѣмъ земного экватора или земной оси съ періодомъ въ $18^1/_2$ лѣтъ.

Рис. 298



Ось волчка вращается въ горизонтальной плоскости.

317. Наконецъ, Ньютонъ пролилъ свѣтъ на явленія прилива и отлива, до него представлявшія загадку.

Само явленіе было извѣстно съ незапамятныхъ временъ. Греческій географъ Страбонъ (род. въ 66 г. до Р. Х.) разсказываетъ, что уже финикіяне знали о приливахъ и отливахъ. Въ Средиземномъ морѣ, какъ въ морѣ внутреннемъ, нельзя, конечно, наблюдать это явленіе, но финикіяне выходили черезъ „Геркулесовы столбы“ и въ открытый океанъ. Они замѣтили, что это явленіе находится въ зависимости отъ луны и что оно особенно интенсивно во время полнолунія и новолунія. Плиній и Плутархъ (род. въ 50 г. по Р. Х.) разсказываютъ нѣчто подобное о Пиѳеѣ изъ Массаліи, который заходилъ далеко на сѣверъ до острова Ѳуле.

Для объясненія этого явленія дѣлались различныя предположенія. Итальянскій іезуитъ Кабео (1585—1650) полагалъ, что луна производитъ на днѣ морскомъ какое-то спиртное вещество, которое и обусловливаетъ приливъ. Стевинъ говоритъ о притягательной силѣ луны. Но такъ какъ на противоположной сторонѣ земли тоже

---

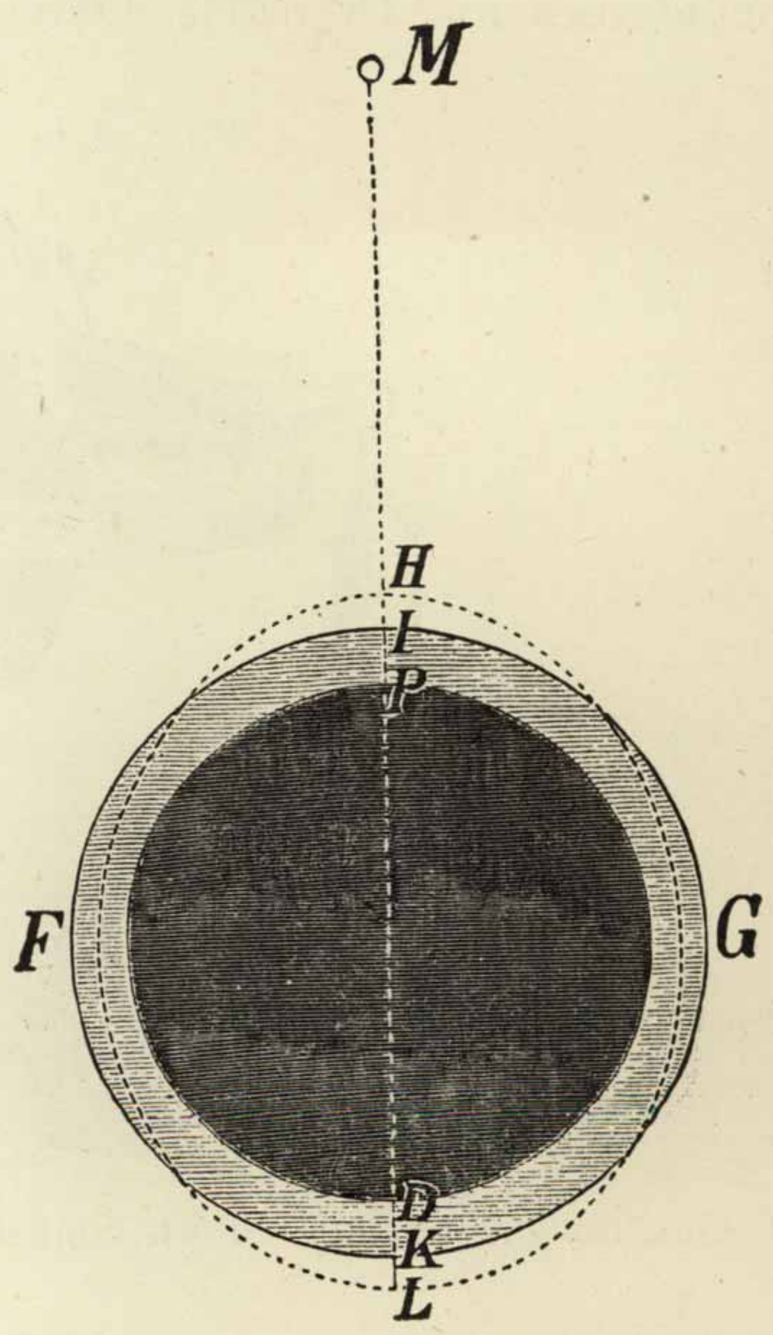
[1]) Подробнѣе см. Перри, *Вращающійся волчокъ*. 2-е изд. Одесса, Mathesis. 1907.

http://mathesis.ru

бываетъ одновременно высокая вода, то онъ полагалъ, что и съ этой стороны должна существовать притягивающая точка. Кеплеръ тоже догадывался о притягательной силѣ, но объяснить явленіе онъ не могъ. Галилей отвергъ эти объясненія и говорилъ о центробѣжной силѣ. Послѣ открытія давленія воздуха нѣкоторые полагали, что луна производитъ измѣненія въ давленіи воздуха, что въ свою очередь оказываетъ вліяніе на уровень моря. Другіе довольствовались тѣмъ, что считали это явленіе тайной природы.

Въ своихъ „Началахъ“ Ньютонъ выступилъ съ объясненіемъ, что приливъ обусловливается разностью между притяженіемъ, оказываемымъ луною на обращенное къ ней море, и притяженіемъ, оказываемымъ ею на самое ядро земли. Это и вызываетъ поднятіе воды на этой сторонѣ земли, *I H*, рис. 299. Далѣе, съ противоположной стороны также существуетъ разность притяженій, производимыхъ луною на море и на ядро земли. Въ этомъ случаѣ луна какъ бы оттягиваетъ землю отъ воды, такъ что и тутъ море поднимается надъ поверхностью земли (*K L*).

Рис. 299



Приливъ и отливъ.

Легко сейчасъ же замѣтить, что и солнце можетъ вызывать нѣчто подобное; можно было бы подумать, что вліяніе солнца должно быть сильнѣе вліянія луны, такъ какъ солнце, несмотря на бо̀льшую отдаленность, притягиваетъ землю гораздо сильнѣе, чѣмъ луна, благодаря своей огромной массѣ. Но здѣсь дѣло не въ самой притягательной силѣ, а лишь въ разности притяженій на твердую часть земного шара и на море. Это можно лучше всего разъяснить при помощи небольшого разсчета.

Пусть масса земли будетъ 1, тогда масса луны будетъ приблизительно $^1/_{81}$, а масса солнца — 320000. Если принять радіусъ земли равнымъ 1, то разстояніе луны будетъ 60, а разстояніе солнца $60 \times 400 = 24000$. Притяженіе, оказываемое луною на ближайшую часть земли, составитъ въ такомъ случаѣ $\frac{1}{81} \times \frac{1}{60^2}$ тяжести на земной поверхности, а притяженіе луною центра земли будетъ $\frac{1}{81} \times \frac{1}{61^2}$. Разность этихъ притяженій будетъ

$$\frac{1}{81} \times \frac{1}{60^2} - \frac{1}{81} \times \frac{1}{61^2} = \frac{1}{81} \cdot \frac{61^2 - 60^2}{60^2 \times 61^2} = \frac{1}{8\,800\,000}$$ (приблизительно).

Разность притяженій, производимыхъ солнцемъ на поверхность земли и на ея центръ, будетъ

$$\frac{320\,000}{24\,000^2} - \frac{320\,000}{24\,001^2} = 320\,000 \times \frac{24\,001^2 - 24\,000^2}{24\,000^2 \times 24\,001^2} = \frac{1}{22\,000\,000}.$$

Такимъ образомъ, дѣйствіе солнца равно $^2/_5$ дѣйствія луны. Если мы сравнимъ силы

http://mathesis.ru

притяженія солнцемъ центра земли и противоположной стороны земного шара, то получимъ тотъ же результатъ.

Отсюда мы заключаемъ, что при совмѣстномъ дѣйствіи солнца и луны величина этого дѣйствія будетъ $1 + {}^2/_5 = {}^7/_5$. Тогда мы будемъ имѣть самый высокій приливъ. Когда же солнце и луна дѣйствуютъ въ направленіяхъ противоположныхъ (во время квадратуръ), то величина ихъ дѣйствія будетъ лишь $1 - {}^2/_5 = {}^3/_5$. Въ это время будетъ низкій приливъ.

Такъ какъ земля совершаетъ въ теченіе сутокъ полный оборотъ, то въ каждомъ мѣстѣ земли ежедневно должно быть два прилива и два отлива. Но вслѣдствіе того, что волна прилива въ своемъ движеніи съ востока на западъ задерживается Старымъ Свѣтомъ, а также и Америкой, явленіе прилива происходитъ безпрепятственно лишь на югѣ отъ Африки и Америки. Движеніе приливной волны подвержено значительнымъ измѣненіямъ, вызываемымъ неодинаковостью глубины моря въ различныхъ мѣстахъ, а также формой и распредѣленіемъ материковъ и острововъ. Вслѣдствіе этого въ данномъ мѣстѣ берега высокій приливъ будетъ не въ тотъ моментъ, когда луна проходитъ черезъ меридіанъ, а спустя опредѣленное число часовъ; свѣдѣнія объ этомъ времени даютъ морскіе календари. Равнымъ образомъ, высокіе приливы достигаютъ максимума не во время полнолунія и новолунія, а на день, а то и на нѣсколько дней позже.

318. Такъ какъ земля вращается съ запада на востокъ, между тѣмъ какъ луна заставляетъ волну прилива стоять какъ бы неподвижно, то она въ извѣстной мѣрѣ является тормазомъ, уничтожающимъ часть энергіи движенія земли. Тѣмъ не менѣе скорость вращенія земли не измѣнилась отъ этого сколько-нибудь замѣтно съ начала историческаго періода, такъ какъ продолжительность сутокъ остается неизмѣнной уже 2000 лѣтъ. Упомянутый въ § 21 періодъ затменій все еще состоитъ изъ такого же точно числа дней (6585·32), какъ и тогда. Слѣдовательно, и единица времени, сутки, остается та же.

На лунѣ, съ другой стороны, когда она еще была въ болѣе жидкомъ состояніи, также, вѣроятно, была пара мощныхъ приливныхъ волнъ, обязанныхъ своимъ существованіемъ землѣ и уничтожившихъ скорость ея вращенія. Луна постоянно обращена къ землѣ одной и той же стороной и въ эту сторону нѣсколько удлинена по направленію къ землѣ. Такимъ же образомъ, вѣроятно, и время вращенія Меркурія и Венеры постепенно сравнялось съ періодомъ ихъ обращенія вокругъ солнца, благодаря приливнымъ волнамъ, вызваннымъ вліяніемъ солнца.

319. Блестящей математической обработкой вопроса о движеніи небесныхъ тѣлъ, съ чѣмъ мы познакомились въ общихъ чертахъ, Ньютонъ больше, чѣмъ кто-либо другой, выяснилъ основы механики и по отношенію къ этой именно сторонѣ его дѣятельности не покажутся преувеличеніемъ два стиха его болѣе молодого современника Попа:

„Nature and Nature's Laws lay hid in Night.
God said, Let Newton be, and all was light“[1]).

Съ именемъ Ньютона мы встрѣчаемся, однако, и въ другихъ областяхъ физи-

---

[1]) Природа и законы природы были окутаны мракомъ. Богъ рекъ: Да будетъ Ньютонъ, и все стало свѣтомъ.

http://matnesis.ru

ки, въ которыхъ имъ совершено много великаго. Но здѣсь мы находимъ также и ошибки; и огромный авторитетъ Ньютона былъ причиною того, что теоріи, основанныя на этихъ недоразумѣніяхъ, служили препятствіемъ къ широкому распространенію правильныхъ понятій почти еще цѣлое столѣтіе.

Ньютонъ является однимъ изъ сравнительно немногихъ естествоиспытателей прежняго времени, которые еще при жизни получили достойную оцѣнку своихъ заслугъ. Въ 1695 году Ньютонъ получилъ должность при королевскомъ монетномъ дворѣ, что приносило ему ежегодно около 5000 рублей, причемъ онъ сохранялъ за собою профессуру въ Кэмбриджѣ; въ 1699 году онъ получилъ должность главнаго начальника монетнаго двора съ содержаніемъ въ 12000 рублей. Онъ переѣхалъ на жительство въ Кенсингтонъ, причемъ тогда же былъ избранъ предсѣдателемъ Royal Society. На склонѣ дней своихъ онъ пользовался заботливымъ уходомъ со стороны своей племянницы, г-жи Кондюи. Ньютонъ умеръ въ 1727 году въ возрастѣ 85 лѣтъ, оставивъ послѣ себя значительное состояніе. По распоряженію короля Георга I останки его были погребены въ Вестминстерскомъ аббатствѣ съ большою пышностью.

Интересенъ взглядъ Ньютона, высказанный имъ уже въ преклонномъ возрастѣ, относительно соотношенія между человѣческимъ изслѣдованіемъ и его предметомъ — природой: „Я не знаю, какого мнѣнія будетъ свѣтъ о моихъ трудахъ; я же лично смотрю на себя, какъ на ребенка, который, играя на морскомъ берегу, нашелъ нѣсколько камешковъ поглаже и нѣсколько раковинъ попестрѣе, чѣмъ удавалось другимъ; но неизмѣримый океанъ оставался предъ моимъ взоромъ неизслѣдованнымъ“.

Послѣ Ньютона осталось также нѣсколько сочиненій религіознаго содержанія. Они вышли въ свѣтъ въ 1736 году; въ нихъ идетъ рѣчь о пророкѣ Даніилѣ и объ Апокалипсисѣ. Біо высказалъ взглядъ, что эти сочиненія возникли въ періодъ душевной болѣзни автора. Но Брюстеръ показалъ, что Ньютонъ неизмѣнно сохранялъ свои духовныя силы, за исключеніемъ одного весьма короткаго періода, вызваннаго переутомленіемъ. Но онъ тогда же совершенно оправился, а появленіе указанныхъ сочиненій относится къ болѣе позднему времени. За нѣсколько дней до смерти Ньютонъ еще руководилъ засѣданіемъ въ Royal Society.

Неподвижныя звѣзды

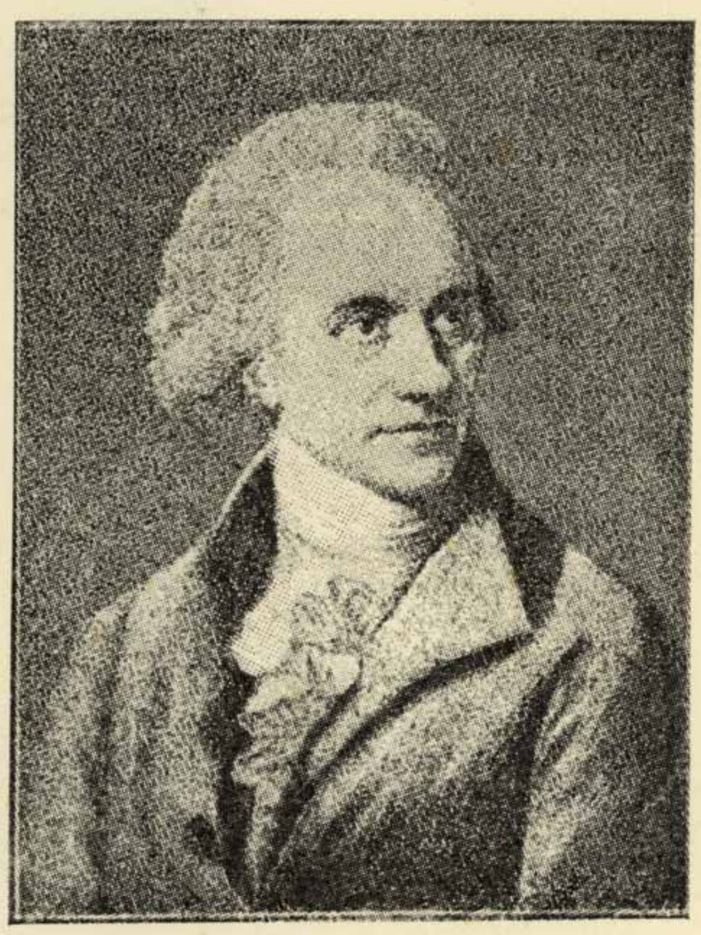
320. Къ концу XVIII столѣтія движенія тѣлъ солнечной системы были изучены путемъ наблюденія и, наконецъ, теоретически обоснованы Ньютономъ. Но небо неподвижныхъ звѣздъ считалось въ это время чѣмъ-то совершенно неизмѣннымъ. Единичныя наблюденія, какъ, напримѣръ, открытіе новой звѣзды Тихо Браге (§ 67), служили, однако, указаніемъ на то, что измѣненія не совсѣмъ невозможны. Но уже давно было признано, что годичное движеніе неподвижныхъ звѣздъ относительно солнца (§ 29), равно какъ прецессія (§ 44) и аберрація (§ 284) обусловливаются не собственнымъ движеніемъ неподвижныхъ звѣздъ, а движеніемъ земли, — и всѣ попытки опредѣлить разстоянія неподвижныхъ звѣздъ терпѣли крушеніе. Для изслѣдованія звѣзднаго неба требовались болѣе точные инструменты, чѣмъ тѣ, какими располагали въ то время наблюдатели, — и первый, кто ихъ ввелъ въ употребленіе, занимался вначалѣ астрономіей, какъ любитель, наряду со своей главной профессіей.

321. Вильямъ Гершель родился въ 1738 году въ Ганноверѣ, который тогда

http://mathesis.ru

былъ объединенъ съ Англіей личной уніей. Отецъ его, военный музыкантъ, былъ образованнымъ человѣкомъ; его мать была толковая, практичная женщина, которая, впрочемъ, не получила высшаго образованія. Многочисленныя дѣти ихъ всѣ были музыкальны; но только сыновья, среди нихъ и Вильямъ, имѣли возможность усовершенствоваться въ музыкѣ. Семнадцати лѣтъ отъ роду онъ сдѣлался гобоистомъ въ ганноверской гвардіи, съ которой онъ перешелъ въ Англію. Спустя нѣсколько лѣтъ Гершель оставилъ службу, сталъ давать уроки музыки и принимать участіе въ концертахъ; позднѣе онъ сдѣлался органистомъ въ Галифаксѣ, а потомъ въ Батѣ.

Рис. 300



Вильямъ Гершель.

Здѣсь онъ давалъ концерты, имѣлъ много учениковъ и вообще занималъ весьма видное положеніе въ музыкальномъ мірѣ. Наряду съ музыкальной дѣятельностью, которая отнимала у него около 14 часовъ въ сутки, онъ по вечерамъ изучалъ языки, математику, оптику и астрономію. Послѣ смерти отца онъ взялъ къ себѣ своего младшаго брата, Александра, а спустя нѣсколько лѣтъ и младшую сестру, Каролину. Братъ и сестра должны были впослѣдствіи стать его помощниками: братъ, механикъ, помогалъ при шлифовкѣ зеркалъ, а сестра при наблюденіяхъ.

Занимаясь астрономіей, Гершель былъ до того увлеченъ желаніемъ увидѣть небесныя тѣла собственными глазами, что не успокоился до тѣхъ поръ, пока ему не удалось въ 1774 году изготовить зеркальный телескопъ съ фокуснымъ разстояніемъ въ $5^1/_2$ футовъ. Его усердіе въ этихъ занятіяхъ доходило до того, что для наблюденій надъ звѣздами онъ пользовался даже антрактами во время концертовъ.

Послѣ перваго удачнаго опыта онъ сталъ изготовлять телескопы одинъ за другимъ. Шлифовались зеркала въ 7, 10, 20 футовъ. Весь домъ превратился въ мастерскую; а такъ какъ во время этой работы онъ не могъ оставаться безъ умственной пищи, то его сестра, Каролина, должна была читать ему вслухъ, пока онъ днемъ работалъ надъ шлифовкой зеркалъ. По вечерамъ онъ превращался въ музыканта, а по ночамъ производилъ наблюденія со своимъ телескопомъ. Для отдыха онъ давалъ себѣ лишь немного времени.

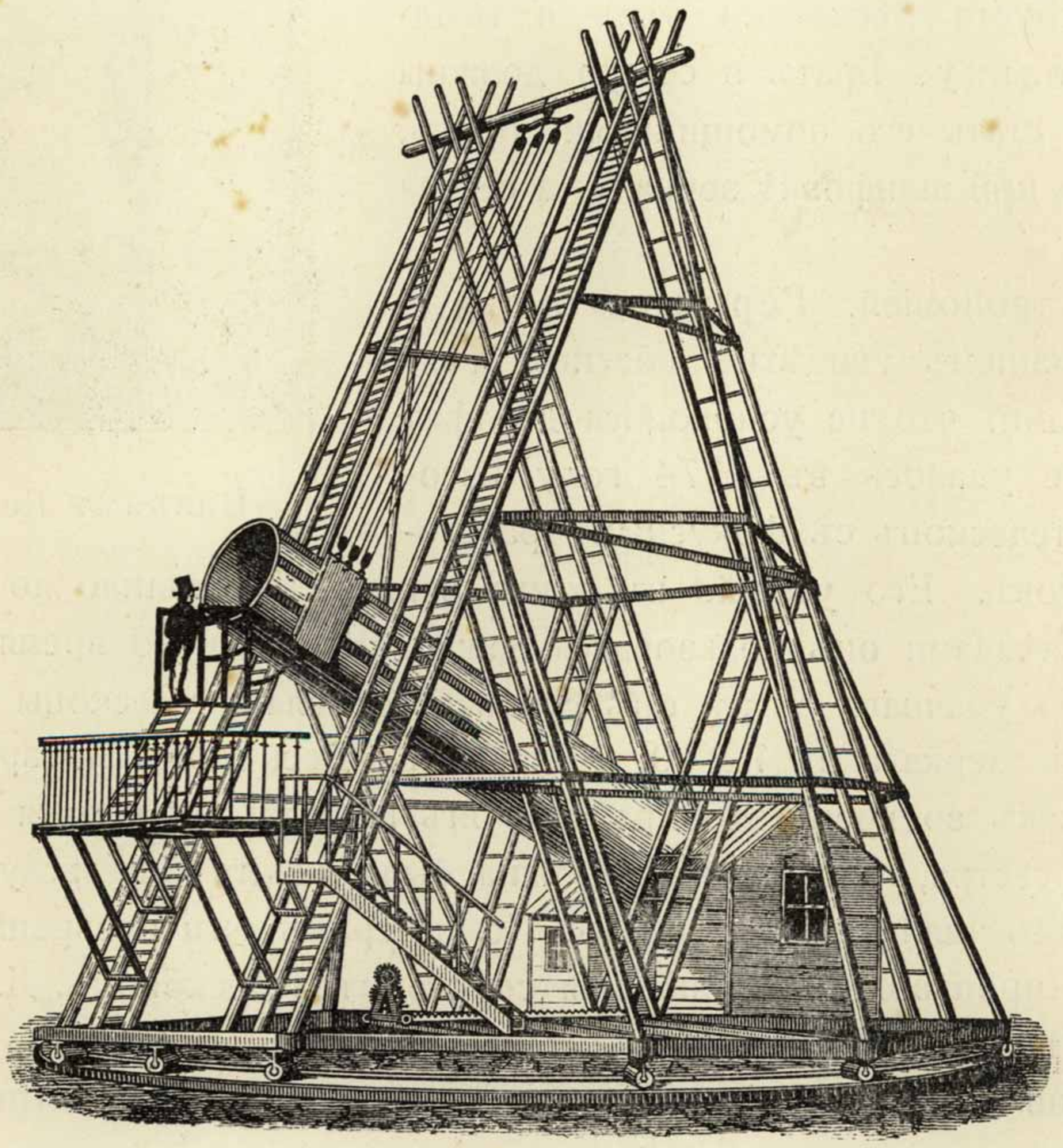
Его наблюденія, однако, не были только любопытнымъ осматриваніемъ неба. Онъ тщательно изучалъ звѣздное небо, одну часть за другою, занося все, что подмѣчалъ относительно положенія, яркости и цвѣта звѣздъ. Такимъ образомъ онъ уже въ 1781 пріобрѣлъ такую увѣренность и опытность въ производствѣ наблюденій, что 13-го марта этого года могъ замѣтить въ созвѣздіи Близнецовъ звѣзду съ нѣсколько бо̀льшимъ дискомъ, чѣмъ у прочихъ звѣздъ. Онъ заподозрилъ, что это была комета. Вскорѣ выяснилось, что она обладаетъ собственнымъ движеніемъ. Изслѣдовавъ болѣе подробно ея орбиту, имѣвшую, какъ оказалось, почти форму окружности, Гершель призналъ въ ней планету, которая двигалась внѣ орбиты Сатурна. Онъ назвалъ ее „звѣздой Георга“ (Georgium sidus) въ честь короля. Впослѣдствіи ей дали, однако, имя Урана. Теперь Гершель сразу сталъ знаменитымъ. По приглашенію

http://mathesis.ru

короля онъ посѣтилъ Гриничъ и Виндзоръ. Его телескопъ, который онъ здѣсь демонстрировалъ, превзошелъ своими достоинствами всѣ инструменты Гриничской обсерваторіи,—и король, равно какъ и королевскій дворъ, съ большимъ усердіемъ наблюдали звѣзды съ помощью этого телескопа. Король сдѣлалъ Гершеля придворнымъ инструментальнымъ мастеромъ и въ виду этого Гершель перебрался съ сестрой Каролиной въ Виндзоръ. Вначалѣ онъ получалъ столь незначительное содержаніе, что былъ вынужденъ удѣлять много времени музыкальнымъ занятіямъ, въ виду чего мало отдавался астрономіи. Когда это дошло до короля, матеріальныя обстоятельства Гершеля были улучшены; ему была отпущена значительная сумма, давшая ему возможность построить знаменитый гигантскій 40-футовый телескопъ (рис. 301).

Съ этого времени наступаетъ плодотворный для астрономіи рядъ лѣтъ. Въ 1783 году Гершель женился на женщинѣ изъ состоятельной семьи и переселился

Рис. 301



40-футовый телескопъ Гершеля.

въ Слоу близъ Виндзора. Его сестра послѣдовала за нимъ на новое мѣстожительство и проявила здѣсь значительную астрономическую дѣятельность. Она, напримѣръ, открыла цѣлыхъ восемь кометъ.

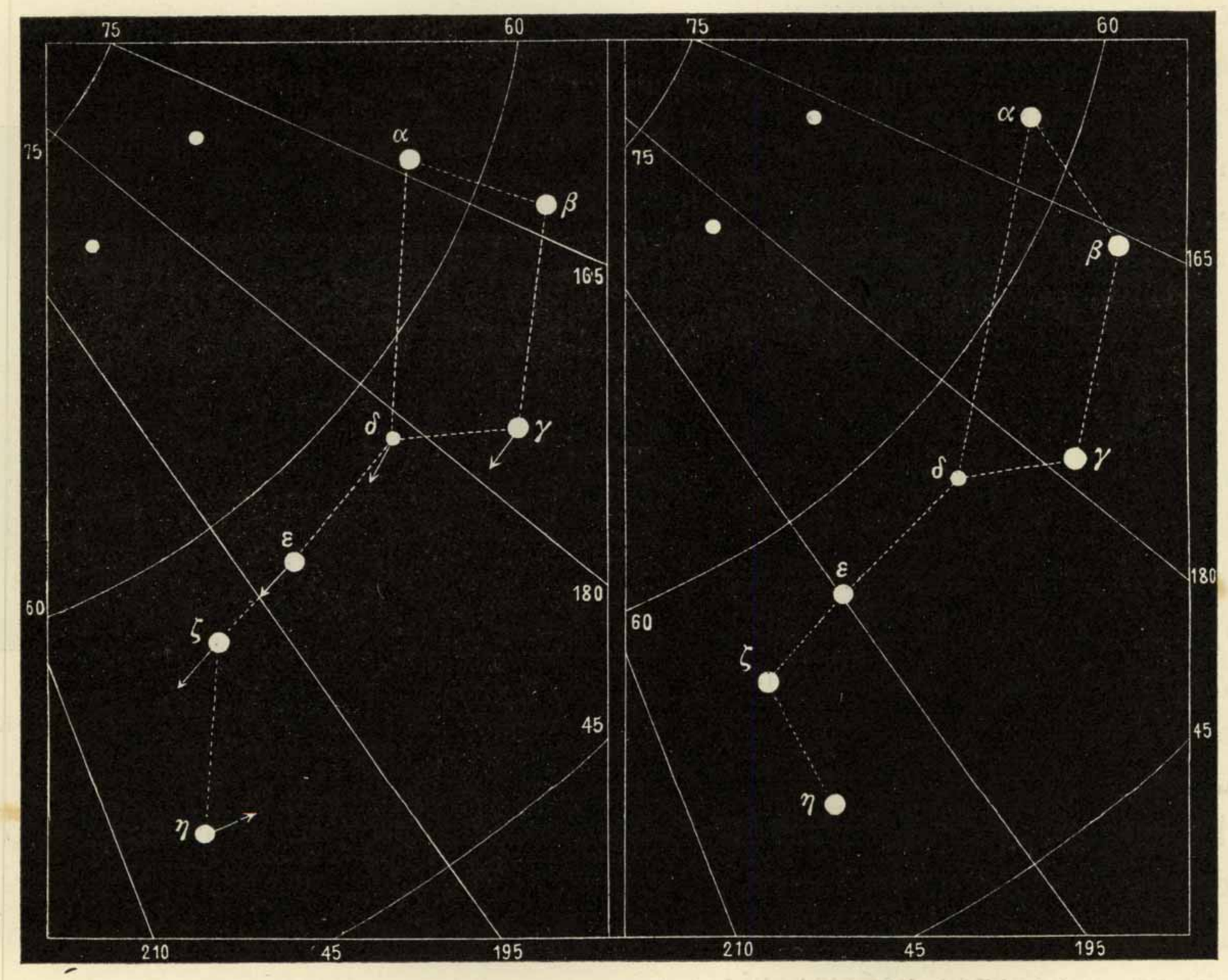
Самъ Гершель открылъ двухъ спутниковъ Сатурна и двухъ спутниковъ Урана. Восьмой спутникъ Сатурна, а также третій и четвертый спутники Урана были открыты лишь въ серединѣ XIX вѣка Лассселемъ въ Ливерпулѣ. Главная же заслуга Гершеля заключается въ томъ, что онъ изслѣдовалъ звѣздное небо; о своихъ открытіяхъ онъ въ теченіе ряда лѣтъ послалъ массу сообщеній въ Royal Society въ Лондонѣ.

http://mathesis.ru

322. Благодаря наблюденіямъ Гершеля, звѣздное небо, считавшееся до того времени твердью, неизмѣннымъ сводомъ, превратилось въ безчисленное множество свободно парящихъ солнцъ. При помощи своихъ тонкихъ измѣреній, Гершель нашелъ, что звѣзды мѣняютъ свое положеніе, хотя и очень медленно. Онѣ мѣняютъ свое взаимное расположеніе такъ медленно, что только по прошествіи тысячелѣтій можно будетъ замѣтить измѣненія непосредственнымъ наблюденіемъ. Галлей еще до этого обратилъ вниманіе на то, что Сиріусъ, Арктуръ и Альдебаранъ находятся, повидимому, на $^1/_2{}^0$ южнѣе, чѣмъ въ каталогѣ Птолемея. На рис. 302 изображена Большая Медвѣдица въ нынѣшнемъ видѣ (слѣва) и черезъ 36000 лѣтъ (справа). На первомъ рисункѣ стрѣлками обозначены направленія, по которымъ движутся отдѣльныя звѣзды.

Кромѣ собственнаго движенія отдѣльныхъ звѣздъ Гершель нашелъ еще общее всѣмъ звѣздамъ движеніе, которое онъ объяснилъ движеніемъ солнечной системы въ

Рис. 302



Большая Медвѣдица теперь и черезъ 36000 лѣтъ.

міровомъ пространствѣ. Именно, Гершель нашелъ, что всѣ звѣзды въ созвѣздіи Геркулеса и вблизи него (рис. 303) удаляются отъ одной опредѣленной точки, обозначенной на рисункѣ маленькимъ кружкомъ. То же можно замѣтить въ лѣсу, когда направляешься къ опредѣленной цѣли. Деревья, стоящія справа отъ этой цѣли, уходятъ вправо, деревья, стоящія слѣва отъ цѣли, уходятъ влѣво; верхушки же деревьевъ поднимаются по мѣрѣ приближенія все выше и выше. На противоположной сторонѣ неба Гершель нашелъ точку, къ которой звѣзды приближаются, подобно деревьямъ въ лѣсу, которыя какъ бы сходятся въ то мѣсто, откуда мы уходимъ.

323. При помощи телескопа Гершеля, благодаря его размѣрамъ, можно было

http://mathess.ru

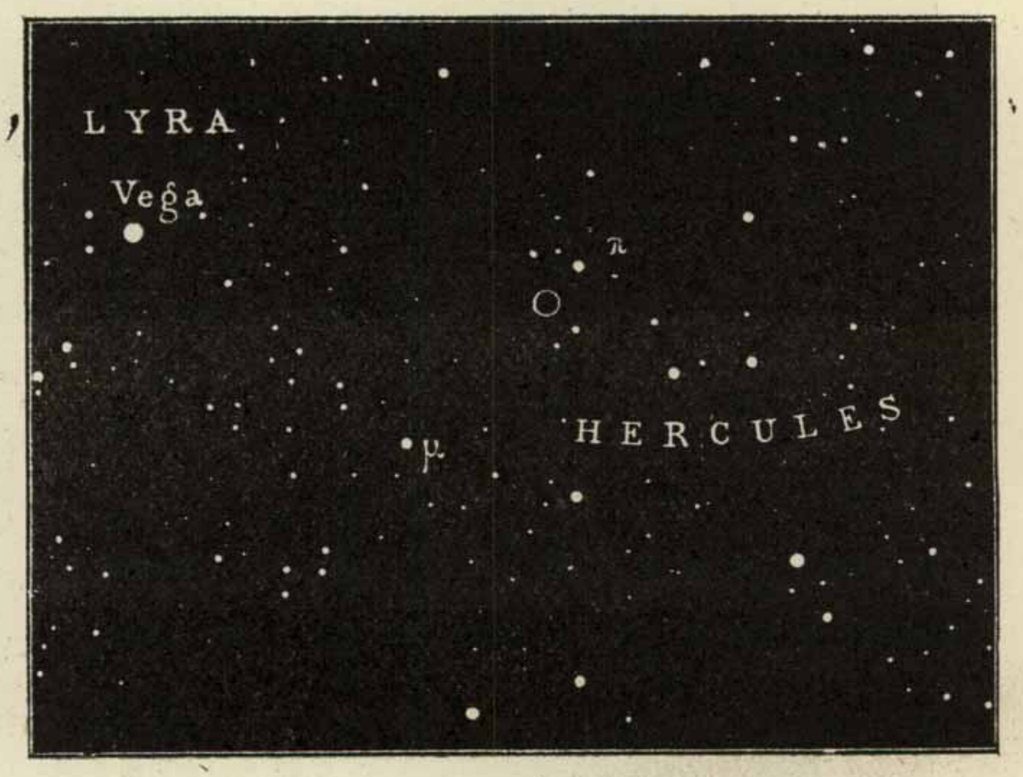
увидѣть безчисленное множество звѣздъ. Говоря обыкновенно о „безчисленномъ множествѣ“ звѣздъ, мы выражаемся не совсѣмъ точно, если мы имѣемъ въ виду только звѣзды, видимыя простымъ глазомъ, такъ какъ число этихъ звѣздъ опредѣлить не очень трудно.

По яркости звѣзды дѣлятся на различные классы. Самыя яркія звѣзды составляютъ классъ звѣздъ первой величины. Звѣзды седьмой величины можно еще видѣть, но уже съ большимъ трудомъ. Во всякомъ случаѣ, чтобы видѣть ихъ, нуженъ зоркій глазъ и прозрачное небо. Слѣдующіе классы можно видѣть лишь при помощи телескопа; и число звѣздъ тѣмъ больше, чѣмъ сильнѣе телескопъ. Число звѣздъ первыхъ классовъ приблизительно слѣдующее:

Величина:	1.	2.	3.	4.	5.
Число:	21	65	200	425	1100
Величина:	6.	7.	8.	9.	
Число:	3200	13000	40000	142000	

О томъ, какъ неизмѣримо велико число звѣздъ высшихъ классовъ, можно составить представленіе, разсматривая небольшую часть созвѣздія Близнецовъ (рис. 151): простымъ глазомъ мы тамъ увидимъ только 7 звѣздъ, самая яркая изъ нихъ третьей величины, при помощи же хорошей современной трубы на томъ же мѣстѣ можно насчитать 3205 звѣздъ, до звѣздъ 13-ой величины включительно (рис. 152). Такое количество звѣздъ наблюдается, конечно, не во всѣхъ направленіяхъ. Вообще, число ихъ больше всего въ Млечномъ Пути. Гершель оцѣнивалъ число звѣздъ въ 18 милліоновъ. Позднѣе Струве (род. въ 1793 г. въ Альтонѣ, ум. въ 1864 г. въ Петербургѣ) оцѣнилъ число звѣздъ, видимыхъ на всемъ небѣ въ 40-футовой телескопъ Гершеля, въ 20 милліоновъ. Въ настоящее время считаютъ, что число телескопическихъ звѣздъ превышаетъ 80 милліоновъ. Само собою разумѣется, что число звѣздъ зависитъ, какъ правильно замѣтилъ уже Гершель, отъ силы телескопа, съ которымъ производятся наблюденія.

Рис. 303



Точка между звѣздами, по направленію къ которой движется солнце.

324. Слѣдующій вопросъ состоитъ теперь въ томъ, на какомъ разстояніи отъ насъ находятся неподвижныя звѣзды. Тихо Браге пытался опредѣлить это разстояніе (§ 70), но безуспѣшно; то же нужно сказать и о Брадлеѣ (§ 284). Послѣдній при этихъ попыткахъ открылъ аберрацію свѣта. Послѣ нихъ за рѣшеніе этого вопроса взялся Гершель, но тоже безуспѣшно, несмотря на то, что въ своихъ наблюденіяхъ онъ достигъ такой точности, какой до него не достигалъ никто. Зато его попытки привели къ совершенно новому открытію.

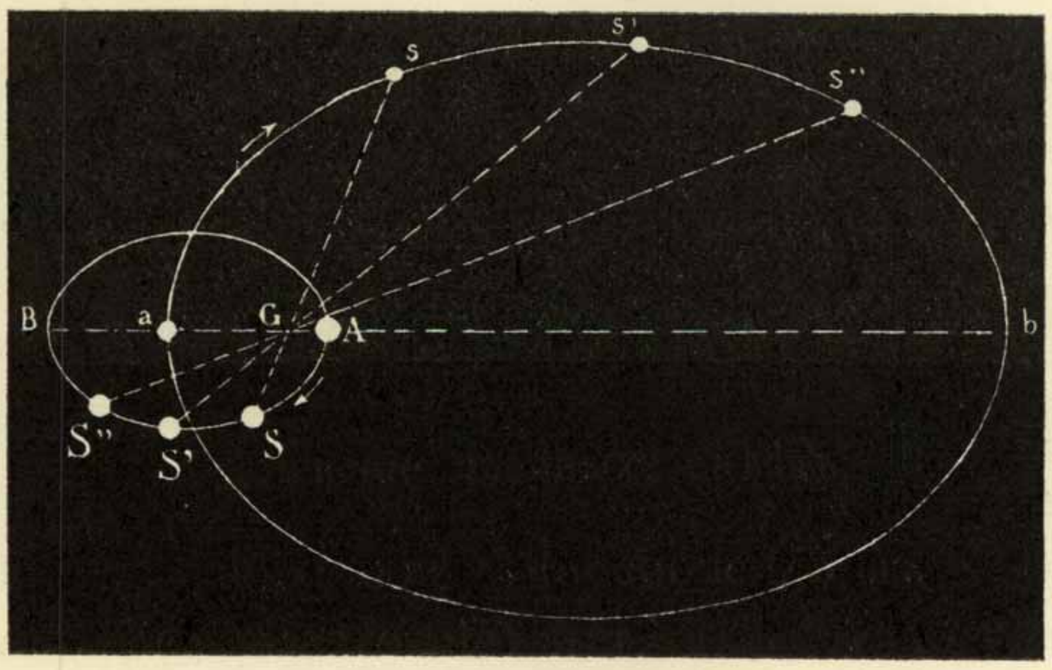
Такъ какъ тщетно отыскиваемый параллаксъ (ср. § 70 и рис. 53) во всякомъ случаѣ долженъ быть очень малъ, то Гершель хотѣлъ попытаться найти его, примѣнивъ методъ, предложенный еще Галилеемъ, а именно: видимое перемѣщеніе

http://mathesis.ru

звѣзды, обусловливаемое движеніемъ земли вокругъ солнца, можетъ быть лучше всего замѣчено, если сравнивать положеніе этой звѣзды съ положеніемъ другой, сосѣдней для глаза, но безконечно далекой, перемѣщеніе которой вслѣдствіе движенія земли равно нулю или совершенно ничтожно въ сравненіи съ опредѣленнымъ перемѣщеніемъ (параллаксомъ) первой звѣзды. Другими словами, Гершель хотѣлъ подобрать пары звѣздъ, которыя, будучи видимы въ его большой телескопъ на весьма близкомъ разстояніи другъ отъ друга, имѣли бы, конечно, одинаковую рефракцію, одинаковую аберрацію и т. д. Для этой цѣли онъ сталъ наблюдать большое количество такихъ звѣздныхъ паръ, опредѣляя взаимное разстояніе и положеніе звѣздъ каждой пары. Спустя нѣкоторое время онъ повторилъ эти измѣренія; но вмѣсто того, чтобы найти параллаксъ, т. е. смѣщеніе звѣздъ, соотвѣтствующее годовому движенію земли, онъ открылъ у нѣкоторыхъ изъ этихъ двойныхъ звѣздъ совершенно иное измѣненіе положенія другъ относительно друга: при дальнѣйшемъ движеніи одна изъ нихъ должна была бы совершить полный оборотъ около другой. Подобно тому какъ движутся планеты вокругъ солнца или, еще лучше, подобно тому, какъ земля и луна, составляющія, такъ сказать, двойную планету, движутся вокругъ общаго центра тяжести, находящагося въ землѣ (§ 317), такъ открытыя Гершелемъ „двойныя звѣзды“ движутся въ теченіе многихъ лѣтъ вокругъ общаго центра тяжести. При жизни Гершеля ни одна изъ этихъ паръ не совершила, правда, полнаго оборота, но съ тѣхъ поръ это наблюдали у многихъ двойныхъ звѣздъ. Гершель производилъ наблюденія, напримѣръ, надъ двойною звѣздою ξ Большой Медвѣдицы въ 1781, 1803 и 1825 гг. Полный же оборотъ звѣзда закончила лишь въ 1842 году, такъ что ея періодъ составляетъ 61 годъ.

Эти движенія также подчиняются законамъ Кеплера и, значитъ, и тутъ имѣетъ силу законъ всемірнаго тяготѣнія Ньютона. Звѣзды движутся по эллипсамъ около общаго центра тяжести, какъ фокуса. Эти эллипсы часто весьма растянуты, что, однако, можетъ быть иногда лишь слѣдствіемъ перспективы, если этотъ путь наблюдается сбоку. Рис. 304 можетъ дать представленіе о движеніи такихъ двойныхъ звѣздъ. G— общій центръ тяжести, a и A — двѣ звѣзды, когда онѣ на наименьшемъ разстояніи другъ отъ друга. Въ данномъ случаѣ масса A въ три раза больше массы a, такъ какъ разстояніе aG взято втрое больше, чѣмъ AG. Оба тѣла затѣмъ движутся такимъ образомъ, что приходятъ одновременно въ s и S, въ s' и S', въ s'' и S'' и въ b и B (наибольшее разстояніе) и т. д.

Рис. 304



Движеніе двойныхъ звѣздъ.

Такимъ образомъ Гершель открылъ, что нѣкоторыя изъ двойныхъ звѣздъ представляютъ дѣйствительныя (физическія) двойныя звѣзды, что это два связанныя между собою солнца. Другія же являются только такъ называемыми оптическими двойными звѣздами, т. е. онѣ случайно расположены приблизительно на одной прямой линіи съ землею, тогда какъ вторая звѣзда, возможно, отстоитъ значительно

http://mathesis.ru

дальше отъ земли, чѣмъ первая. Этимъ-то именно обстоятельствомъ Гершель и имѣлъ въ виду воспользоваться для опредѣленія параллакса болѣе близкой изъ двухъ звѣздъ. Это не удалось ему, но зато онъ нашелъ 806 дѣйствительныхъ двойныхъ звѣздъ и описалъ ихъ.

Кромѣ двойныхъ звѣздъ есть также звѣздныя системы, которыя состоятъ изъ трехъ, четырехъ и бо̀льшаго числа звѣздъ, образующихъ одну семью и движущихся около общаго центра тяжести. Гершель былъ того убѣжденія, что неподвижныя звѣзды суть солнца, и, такимъ образомъ, наше представленіе о солнечныхъ системахъ расширилось уже этими наблюденіями надъ двойными звѣздами. До этого времени существовало лишь представленіе о нашей солнечной системѣ съ однимъ центральнымъ тѣломъ. Но въ міровомъ пространствѣ мы встрѣчаемъ и такія системы, которыя заключаютъ въ себѣ два, три и болѣе свѣтящихся тѣлъ, движущихся одно около другого. Если въ этихъ системахъ находятся и темныя тѣла, то тамъ можно видѣть не одно солнце на небѣ, какъ у насъ, а иногда нѣсколько, причемъ иногда эти солнца, можетъ быть, имѣютъ разную окраску.

325. Хотя попытка Гершеля опредѣлить параллаксы неподвижныхъ звѣздъ не удалась, тѣмъ не менѣе онъ не терялъ надежды составить представленіе о размѣрахъ вселенной, въ которую онъ проникъ гораздо дальше, благодаря своему огромному телескопу, чѣмъ кто-либо до него.

Въ различныхъ направленіяхъ мы наблюдаемъ различныя количества неподвижныхъ звѣздъ, но наибольшее количество звѣздъ мы видимъ въ той плоскости, въ которой густые рои Млечнаго Пути опоясываютъ все небо. По мнѣнію Гершеля, само солнце тоже принадлежитъ къ большому рою звѣздъ,—другими словами, оно есть одна изъ милліоновъ звѣздъ, входящихъ въ составъ Млечнаго Пути, а звѣзды, видимыя простымъ глазомъ, только ближайшіе члены этого большого роя; видимъ же мы ихъ на небесномъ сводѣ далекими другъ отъ друга только потому, что къ землѣ онѣ ближе всѣхъ.

Чтобы опредѣлить размѣры и видъ этого скопленія звѣздъ, Гершель предположилъ, что разстоянія между всѣми міровыми тѣлами въ среднемъ одинаковы, т. е. что эти тѣла распредѣлены во вселенной приблизительно равномѣрно. Если мы направимъ зрительную трубу въ то или другое мѣсто неба, то мы увидимъ всѣ тѣ звѣзды, которыя находятся въ конусѣ, образуемомъ полемъ зрѣнія трубы. Поэтому, если въ полѣ зрѣнія находилось въ одномъ мѣстѣ 100 звѣздъ, а въ другомъ 800, то Гершель сдѣлалъ отсюда выводъ, что въ послѣднемъ случаѣ граница скопленія должна лежать вдвое дальше, чѣмъ въ первомъ, такъ какъ объемъ конуса возрастаетъ въ 8 разъ, когда его длина увеличивается вдвое. Если въ третьемъ направленіи видно 2700 звѣздъ, то граница скопленія въ этомъ мѣстѣ должна отстоять въ три раза дальше, такъ какъ объемъ конуса теперь въ 27 разъ больше. Подобнымъ образомъ Гершель опредѣлилъ глубину нашего скопленія солнцъ (Млечнаго Пути) не менѣе, чѣмъ въ 3400 направленіяхъ. Онъ опубликовалъ результаты своихъ „зондированій“ въ 1785 году. Впослѣдствіи, однако, онъ пришелъ къ убѣжденію, что его предположеніе о равномѣрномъ распредѣленіи звѣздъ неправильно.

Тогда Гершель принялъ другую исходную точку, а именно ту, что въ общемъ звѣзды одинаково ярки. Въ такомъ случаѣ звѣзды первой величины должны быть къ намъ ближе всѣхъ, звѣзды второй величины должны отстоять нѣсколько дальше, звѣзды

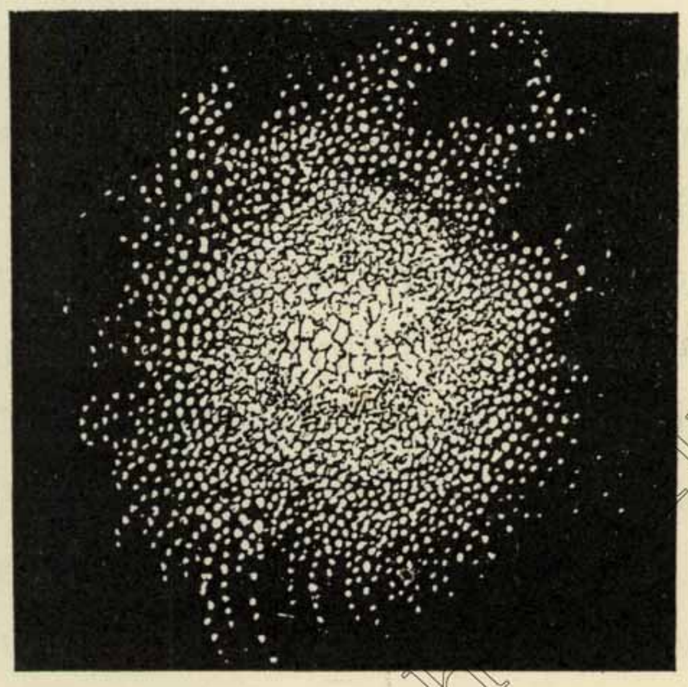
http://mathesis.ru

третьей величины—еще дальше и т. д. Такъ какъ въ распоряженіи Гершеля былъ цѣлый рядъ зрительныхъ трубъ различной силы, то при помощи слабѣйшей изъ нихъ, которая все же давала возможность видѣть больше звѣздъ, чѣмъ невооруженный глазъ, онъ могъ зондировать одной ступенью глубже, чѣмъ простымъ глазомъ. Слѣдующая труба, дававшая возможность видѣть больше звѣздъ, чѣмъ первая, позволяла зондировать еще на одну ступень глубже и т. д. до 40-футоваго телескопа. Если въ какомъ-либо направленіи труба № 2 позволяла увидѣть больше звѣздъ, чѣмъ труба № 1, а труба № 3 новыхъ звѣздъ больше не давала, то это указывало, что въ этомъ мѣстѣ была достигнута граница скопленія звѣздъ.

Гершель, однако, видѣлъ, что и это допущеніе—одинаковости яркости звѣздъ—ненадежно и что, слѣдовательно, нельзя слишкомъ полагаться на зондированія, основанныя на этомъ допущеніи. Тѣмъ не менѣе въ этихъ двухъ попыткахъ мы видимъ всю неутомимую энергію великаго изслѣдователя, стремившагося измѣрить глубину, которую онъ самъ въ концѣ концовъ призналъ бездонной. Если даже эти методы и не вполнѣ точны, то тѣмъ не менѣе они—особенно, если пользоваться ими обоими—все же пригодны въ такой же мѣрѣ, въ какой вообще пригодны разсчеты, основанные на теоріи вѣроятностей; еще и въ настоящее время мы пользуемся подобными способами, чтобы получить представленіе о формѣ Млечнаго Пути. Эти милліоны звѣздъ, повидимому, образуютъ сжатую чечевицу, которая, вѣроятно, распадается на нѣсколько частей, имѣющихъ форму колецъ. Мы сами находимся на внутренней поверхности одного изъ этихъ колецъ и вслѣдствіе этого мы видимъ звѣзды Млечнаго Пути сливающимися въ поясъ, который на противоположной сторонѣ раздваивается, такъ что въ этомъ мѣстѣ мы можемъ смотрѣть сквозь одну часть кольцеобразнаго отверстія.

326. Наконецъ, Гершель оказалъ большія услуги изслѣдованіемъ звѣздныхъ скопленій и туманностей. Уже до него наблюдали приблизительно 120 туманностей. Гершель довелъ это число до 2500; благодаря своему превосходному телескопу онъ нашелъ, что многія изъ нихъ разрѣшаются въ неисчислимое количество звѣздъ. Онъ полагалъ, что это справедливо относительно всѣхъ туманностей, если только разсматривать ихъ достаточно сильной трубой. Впослѣдствіи, однако, онъ пришелъ къ другому взгляду, подтвержденному и новѣйшими изслѣдованіями, а именно, что наряду съ множествомъ туманностей, которыя, если разсматривать ихъ въ телескопъ, разлагаются на тысячи звѣздъ (рис. 305 и 306), существуютъ также и такія туманности, которыя состоятъ не изъ отдѣльныхъ звѣздъ и которыя часто имѣютъ весьма неправильную форму; къ числу ихъ относятся также такъ называемыя планетарныя туманности. Относительно первыхъ Гершель полагалъ, что онѣ находятся далеко за предѣлами Млечнаго Пути и что это въ сущности другіе Млечные Пути. Такимъ образомъ, можно говорить и о Млечномъ Пути млечныхъ путей.

Рис. 305



Звѣздное скопленіе въ Геркулесѣ.

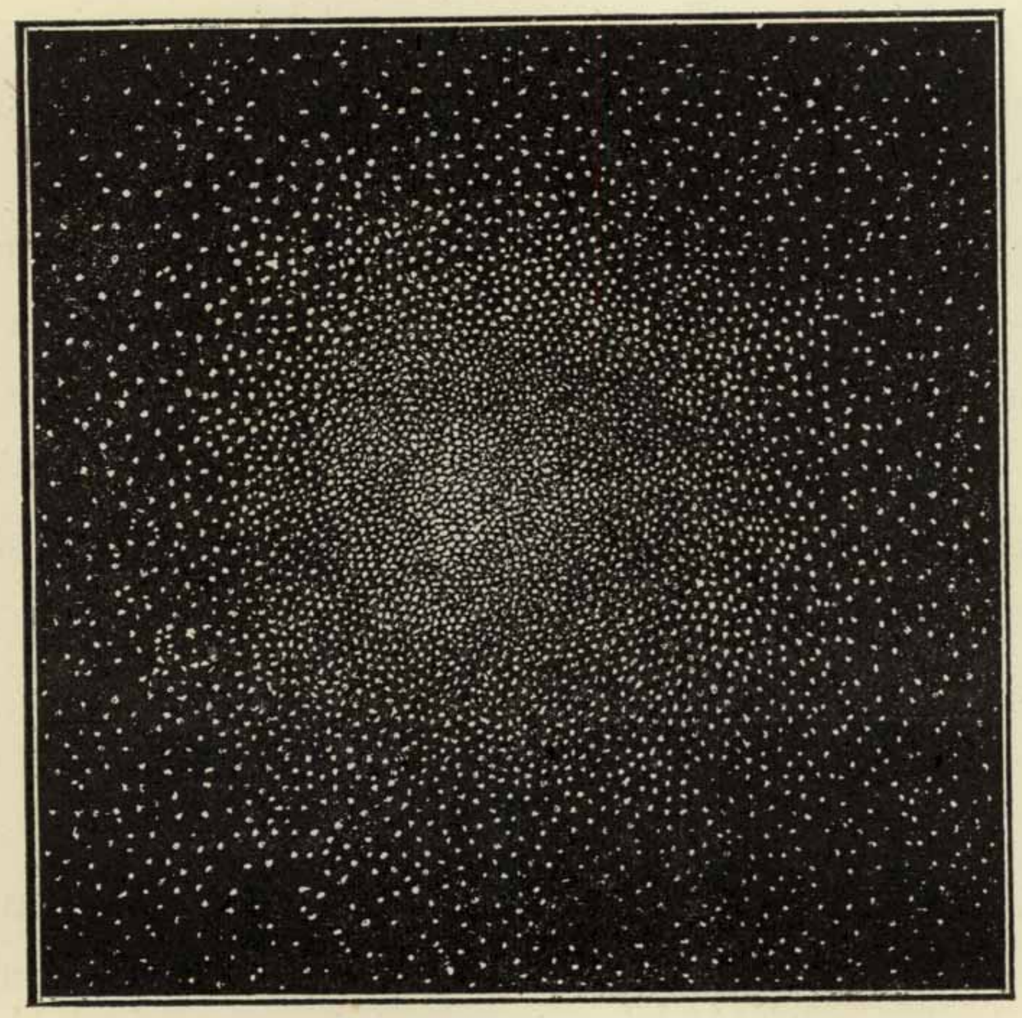
327. Гершель, далѣе, сдѣлалъ много наблюденій окраски неподвижныхъ

http://mathbook.ru

звѣздъ, измѣненій ихъ яркости и т. п. Онъ собралъ такой основательный матеріалъ о неподвижныхъ звѣздахъ и этимъ открылъ столь интересныя области въ этомъ до тѣхъ поръ почти мертвомъ мірѣ, что нельзя не отмѣтить еще одной важной стороны его дѣятельности: онъ привлекъ къ разрѣшенію поставленныхъ имъ проблемъ много молодыхъ силъ. Гершель умеръ въ 1822 году, въ такомъ же возрастѣ, какъ и Ньютонъ. Сестра его, Каролина, которая была значительно моложе его (род. въ 1750 г.), умерла въ 1848 году.

Единственный сынъ В. Гершеля, Джонъ Гершель (1792—1871), достойнымъ образомъ продолжалъ дѣло своего отца. Онъ былъ однимъ изъ выдающихся астрономовъ XIX столѣтія,—особенно въ области двойныхъ звѣздъ и туманностей. Въ 1834 году онъ отправился на Мысъ Доброй Надежды и въ теченіе четырехъ лѣтъ наблюдалъ здѣсь ту часть неба, которая невидима у насъ. При короноваціи королевы Викторіи въ 1838 году онъ былъ возведенъ въ дворянское достоинство.

Рис. 306



Звѣздное скопленіе въ Центаврѣ.

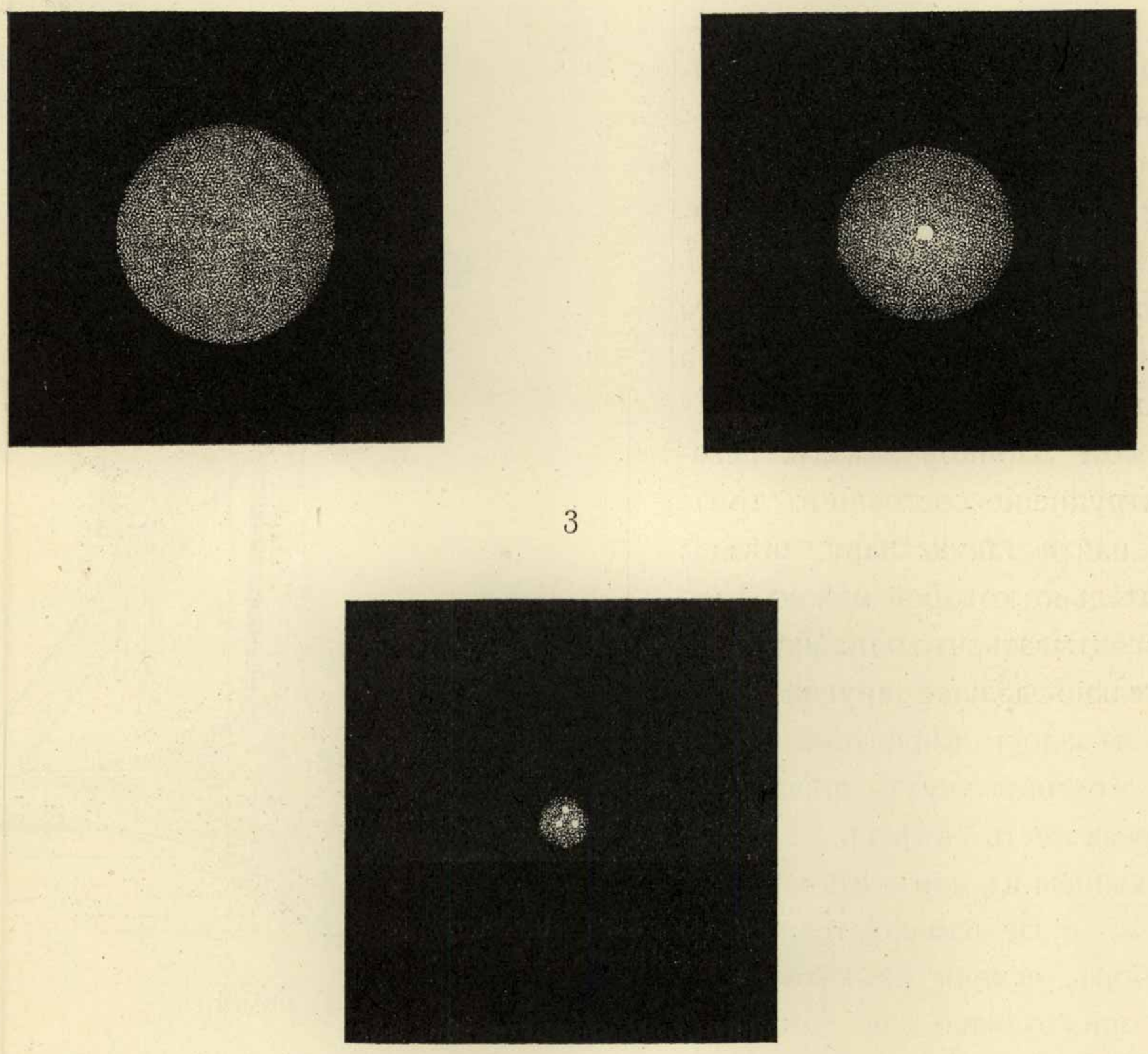
328. Прежде чѣмъ перейти къ дальнѣйшему, попытаемся составить себѣ представленіе о томъ, какихъ увеличеній и какой точности измѣреній достигъ Гершель своими приборами. При измѣреніяхъ двойныхъ звѣздъ ему часто приходилось имѣть дѣло съ дугами въ одну секунду и даже меньше. Чтобы представить себѣ дугу въ одну секунду, достаточно вспомнить, что діаметръ луны составляетъ 30 минутъ или 1800 секундъ. Если мы представимъ себѣ, что діаметръ луны раздѣленъ на 1800 равныхъ частей, то каждая изъ нихъ представитъ, слѣдовательно, дугу въ одну секунду. Тонкость такихъ измѣреній можно наглядно объяснить еще слѣдующимъ образомъ. Вообразимъ себѣ на разстояніи 2 *км* зданіе въ 35 *м* длиною. Оно будетъ видно подъ угломъ въ 1 градусъ. Слѣдовательно, углу въ 1 секунду соотвѣтствуетъ 3600-ая часть 35 *м*, т. е. приблизительно 1 *см*. Такимъ образомъ, если мы на разстояніи 2 *км* пожелали бы опредѣлить уголъ между двумя точками, лежащими на разстояніи 1 *см* другъ отъ друга, то намъ пришлось бы измѣрить уголъ въ 1 секунду. Гершель дошелъ приблизительно до этой точности; однако, требовалось пойти еще дальше, чтобы получить разыскиваемые тысячи лѣтъ параллаксы неподвижныхъ звѣздъ.

Здѣсь нужно замѣтить, что оптика и искусство шлифовки стеколъ, а тѣмъ самымъ и конструкція зрительныхъ трубъ въ первой половинѣ XIX столѣтія сдѣлали столь значительные успѣхи, что съ 20-хъ годовъ его астрономы получили возможность пользоваться такими точными инструментами, какихъ до тѣхъ поръ никогда не было. Превосходные инструменты выходили изъ мастерскихъ Фраунгофера въ Мюнхенѣ. Фраунгоферъ же между прочимъ построилъ „геліометръ“ для Бесселя въ Кёнигс-

http://mathesis.ru

бергѣ. Это названіе означаетъ „солнцемѣръ“, но этотъ приборъ можетъ также служить для опредѣленія разстояній и между другими близкими точками, напримѣръ, между двойными звѣздами. Объективъ геліометра посрединѣ разрѣзанъ и каждая изъ его половинъ, имѣющихъ форму полукруговъ, вдѣлана въ отдѣльную металлическую оправу такъ, что при помощи микрометрическаго винта можно передвигать эти два полукруга, которые будутъ при этомъ скользить другъ около друга вдоль діаметра разрѣза. При сдвигѣ каждая половина объектива даетъ отдѣльное изображеніе звѣзды и, чѣмъ больше раздвинуть половины объектива, тѣмъ больше будетъ и разстояніе

Рис. 307



Планетарныя туманности въ созвѣздіи Рыбъ (1), въ Большой Медвѣдицѣ (2) и въ Андромедѣ (3).

между двумя изображеніями. При наблюденіи, напримѣръ, двойной звѣзды получается четыре изображенія. Можно поставить половины объектива такъ, что изображеніе сѣверной звѣзды одной пары совпадетъ съ изображеніемъ южной звѣзды другой; тогда будутъ видны только три изображенія. Величина сдвига, которая можетъ быть отсчитана на винтѣ, будетъ зависѣть отъ разстоянія между звѣздами. Такимъ способомъ Фраунгоферъ со своимъ геліометромъ далъ возможность производить чрезвычайно тонкія измѣренія.

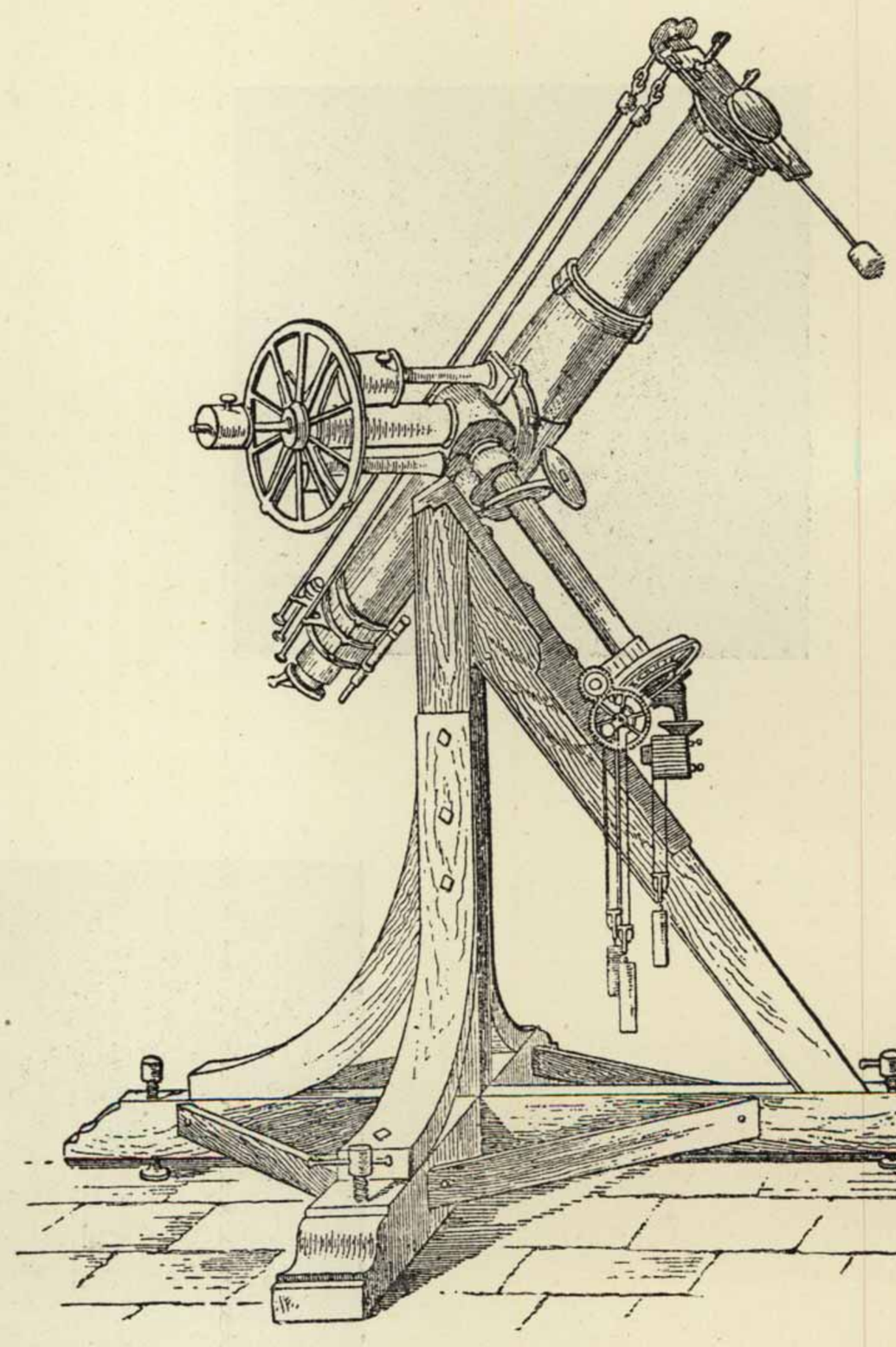
329. Фридрихъ Вильгельмъ Бессель (рис. 309) родился въ 1784 году въ Минденѣ. Пятнадцати лѣтъ отъ роду онъ вступилъ въ торговый домъ въ Бременѣ,

http://mathesis.ru

но уже здѣсь онъ употреблялъ свободное время на изученіе математики и астрономіи. Въ 1806 году онъ сдѣлался ассистентомъ обсерваторіи въ Лиліенталѣ, а въ 1810 году ему было поручено наблюденіе надъ постройкой обсерваторіи въ Кёнигсбергѣ; ставши позже во главѣ этой обсерваторіи, онъ руководилъ ею до своей смерти въ 1846 году, вызывая удивленіе, какъ превосходный теоретикъ, вдумчивый изслѣдователь, серьезный и неутомимый наблюдатель. Помимо огромнаго числа другихъ превосходныхъ наблюденій, Бессель опредѣлилъ и параллаксъ неподвижныхъ звѣздъ, обезсмертивъ этимъ свое имя. Правда, приборы, необходимые для такого рода наблюденій были къ этому времени доведены до такого совершенства, что нѣкоторые другіе наблюдатели достигли той же цѣли почти одновременно и свои наблюденія опубликовали лишь немногимъ позже Бесселя.

330. Бессель получилъ параллаксъ неподвижной звѣзды тѣмъ же способомъ, которымъ пытался получить его уже В. Гершель, а именно, измѣряя разстоянія въ оптической двойной звѣздѣ. Главное затрудненіе состояло въ томъ, чтобы найти такую пару звѣздъ, относительно которой можно было бы разсчитывать, что одна изъ нихъ значительно дальше другой. При этомъ дѣлалось вѣроятное допущеніе, что изъ двухъ звѣздъ болѣе яркая есть вмѣстѣ съ тѣмъ и ближайшая къ намъ. Кромѣ Гершеля и другіе наблюдатели дѣлали выборъ, исходя изъ этого, но цѣли они, однако, не достигли.

Рис. 308



Геліометръ

Бессель въ своемъ выборѣ руководился другой точкой зрѣнія. Какъ извѣстно, В. Гершель показалъ, что всѣ звѣзды имѣютъ собственное движеніе. Бессель и допустилъ, что изъ двухъ звѣздъ ближе та, которая движется скорѣе. По этой причинѣ онъ выбралъ для своихъ наблюденій двойную звѣзду 61 въ созвѣздіи Лебедя. Одна изъ звѣздъ этой пары имѣетъ собственное движеніе въ 5 секундъ въ годъ; ее даже назвали „летящей звѣздой“. Несвѣдущему человѣку эта скорость можетъ, конечно, показаться не столь ужъ значительной, такъ какъ нужно 350 лѣтъ, чтобы звѣзда перемѣстилась на разстояніе, равное видимому діаметру луны. Въ теченіе 1838 года Бессель произвелъ рядъ измѣреній и въ концѣ года онъ могъ сообщить, что параллаксъ этой звѣзды равенъ приблизительно $^1/_3$ секунды. Если принять во вниманіе, что радіусъ земной орбиты равенъ 20 милліонамъ миль и что это разстояніе видимо изъ звѣзды 61 Лебедя подъ угломъ въ $^1/_3$ секунды, то разстояніе этой

http://mathesis.ru

звѣзды легко вычислить. Но было бы нецѣлесообразно давать это громадное разстояніе въ миляхъ,—это было бы еще менѣе разумно, чѣмъ выражать окружность земли въ миллиметрахъ. Даже разстояніе земли отъ солнца (20000000 миль) было бы неподходящей единицей мѣры, такъ какъ разстояніе указанной звѣзды заключаетъ въ себѣ около полумилліона такихъ единицъ. Вотъ почему обыкновенно такія огромныя разстоянія выражаютъ, указывая, сколько нужно свѣту времени на ихъ

Рис. 309



Ф. В. Бессель.

пробѣгъ. Свѣтъ, пробѣгающій 40000 миль въ секунду (§§ 282—288), доходитъ до насъ отъ луны въ $1^1/_4$ секунды, отъ солнца приблизительно въ 8 минутъ, отъ звѣзды 61 Лебедя — въ $8^1/_2$ лѣтъ.

Въ то самое время, когда Бессель наблюдалъ эту звѣзду въ созвѣздіи Лебедя, Гендерсонъ съ тою же цѣлью производилъ наблюденія на Мысѣ Доброй Надежды надъ великолѣпной звѣздою α въ созвѣздіи Центавра. Обнаружилось, что эта звѣзда — ближайшая изъ всѣхъ, разстоянія которыхъ удалось опредѣлить. Въ таблицѣ указаны важнѣйшія изъ неподвижныхъ звѣздъ, разстоянія которыхъ извѣстны.

Изъ этой таблицы легко видѣть, что нѣкоторыя изъ звѣздъ, разстоянія которыхъ опредѣлены, принадлежатъ къ самымъ яркимъ звѣздамъ небеснаго свода. Это согласуется съ предположеніемъ Гершеля о томъ, что самыя яркія звѣзды должны быть и ближайшими, т. е. что въ среднемъ звѣзды обладаютъ одинаковой яркостью. Это

http://mathesis.ru

	Величина	Параллаксъ	Разстояніе		Собственное движеніе	
			въ радіусахъ земной орбиты	въ свѣтовыхъ годахъ	Дуговыхъ секундъ въ годъ	Миль въ секунду
α Центавра	1	0·913″	225970	3·5	3·58	2·5
61 Лебедя	5	0·374	550900	8·7	5·12	8·7
Сиріусъ	1	0·150	1375100	21·3	1·23	5·1
ε Б. Медвѣдицы . . .	3	0·133	1550000	24·4	0·75	3·5
Арктуръ	1	0·127	1628000	25·5	2·25	11·0
Капелла	1	0 046	4484000	70 5	0·46	6·3

допущеніе, разумѣется, вѣрно не во всѣхъ случаяхъ, но все же въ общемъ оно справедливо. Если мы вычислимъ разстоянія слабыхъ звѣздъ въ предположеніи, что ихъ яркость обусловлена только разстояніемъ, то въ среднемъ разстоянія звѣздъ будутъ таковы:

звѣзды 1 величины . . . . . 15 свѣтовыхъ годовъ
„ 2 „ . . . . . 28 „ „
„ 3 „ . . . . . 43 „ „
„ 4 „ . . . . . 61 „ „
„ 5 „ . . . . . 85 „ „
„ 6 „ . . . . . 120 „ „
„ 10 „ . . . . . 700 „ „

Согласно такому разсчету, отдаленнѣйшія звѣзды Млечнаго Пути такъ далеки отъ насъ, что свѣтъ ихъ, видимый нами въ настоящее время, долженъ былъ выйти изъ нихъ 4000 лѣтъ тому назадъ. Но такая оцѣнка, конечно, не очень надежна,— и еслибъ мы примѣнили ее къ еще болѣе отдаленнымъ туманностямъ, то она была бы еще менѣе надежна.

331. В. Гершель измѣрилъ видимое движеніе большого числа звѣздъ, и эти работы, конечно, продолжаются и до настоящаго времени съ болѣе совершенными приборами. Когда удается опредѣлить параллаксъ звѣзды, а слѣдовательно, и ея разстояніе отъ насъ, то легко вычислить и скорость ея движенія. Такъ, напримѣръ, звѣзда 61 Лебедя съ параллаксомъ въ 0·374″ и съ годовымъ движеніемъ въ 5·12″ пробѣгаетъ въ годъ около 274000000 миль или 8·7 мили въ секунду. При этомъ, конечно, предполагается, что звѣзда движется перпендикулярно къ лучу зрѣнія. Если же она сверхъ того приближается къ намъ или удаляется отъ насъ, то ея скорость, разумѣется, еще больше.

Въ послѣднихъ двухъ столбцахъ приведенной выше таблицы показаны такія скорости нѣкоторыхъ другихъ звѣздъ. Мы видимъ, такимъ образомъ, что солнца— въ томъ числѣ и наше солнце (§ 322) — обладаютъ скоростью въ нѣсколько миль въ секунду, подобно землѣ (4 мили), другимъ планетамъ и кометамъ. Но вслѣдствіе огромной отдаленности эта скорость кажется незначительной, какъ кажется незначительной скорость курьерскаго поѣзда, если наблюдать его съ разстоянія нѣсколькихъ миль. Отдаленность же неподвижныхъ звѣздъ такъ велика, что лишь по прошествіи тысячелѣтій можно будетъ замѣтить измѣненія въ ихъ взаимномъ положеніи.

http://mathesis.ru

332. Сиріусъ свѣтитъ, какъ показали измѣренія, въ 5400000000 разъ слабѣе солнца. А такъ какъ Сиріусъ дальше солнца въ 1375000 разъ, то его дѣйствительная яркость должна быть (ср. § 82) въ $\frac{1375000^2}{5400000000} = 350$ разъ больше яркости солнца. Если интенсивность свѣта Сиріуса такова же, какъ и солнца, то намъ пришлось бы допустить, что его поверхность въ 350 разъ больше, діаметръ почти въ 19 разъ больше, а объемъ въ 6000 разъ больше, чѣмъ у солнца. И тѣмъ не менѣе на этомъ громадномъ разстояніи Сиріусъ кажется намъ точкой, какъ и всякая другая неподвижная звѣзда. Еслибъ яркость Сиріуса была не больше яркости солнца, то онъ казался бы съ земли звѣздою шестой величины, видѣть которую могъ бы только зоркій глазъ при благопріятныхъ условіяхъ.

Можно съ извѣстной вѣроятностью допустить, что и другія солнца, не уступающія нашему по величинѣ, также окружены планетами. Если эти спутники таковы же, какъ земля и другія планеты, то едвали можно надѣяться на то, что мы ихъ когда-либо увидимъ. Ибо, если само солнце представляется въ видѣ звѣзды шестой величины, то можно ли разсчитывать увидѣть, хотя бы и въ лучшій телескопъ, свѣтъ, посылаемый даже такой большой планетой, какъ Юпитеръ? Но нѣтъ ничего недопустимаго въ томъ, что во вселенной не все такъ происходитъ, какъ въ нашей солнечной системѣ; и какъ разъ Сиріусъ обнаружилъ чрезвычайно любопытныя особенности.

Опредѣливъ собственное движеніе Сиріуса и найдя, что Сиріусъ описываетъ криволинейный путь, Бессель сдѣлалъ отсюда выводъ, что Сиріусъ долженъ двигаться около другого несвѣтящагося тѣла. То же пришлось допустить и относительно Проціона. Другіе астрономы продолжали эти наблюденія и пути этихъ звѣздъ были опредѣлены съ возможной точностью. Попытки увидѣть въ телескопъ спутника Сиріуса были вначалѣ безуспѣшны. Лишь въ 1860 году Кларкъ, разсматривая это мѣсто неба въ необыкновенно сильный телескопъ съ объективомъ въ $18^1/_2$ дюймовъ въ діаметрѣ, нашелъ этого спутника, ничего не зная о предположеніяхъ Бесселя. Былъ также найденъ и спутникъ Проціона, именно—въ 1873 г. О. Струве. Сиріусъ и его спутникъ совершаютъ путь одинъ около другого въ 50 лѣтъ, Проціонъ и его спутникъ—въ 40 лѣтъ.

333. Со временъ Гершеля мы все болѣе и болѣе знакомимся съ безпредѣльностью звѣзднаго неба и съ разнообразіемъ явленій на немъ. Дальнѣйшія изслѣдованія этихъ отдаленныхъ солнечныхъ системъ, состоящихъ иногда не изъ одного солнца, а изъ двухъ, трехъ и болѣе,—а именно, изслѣдованія при помощи спектроскопа (ср. отдѣлъ О природѣ свѣта) показали, что и въ тѣхъ мірахъ, которые отстоятъ отъ насъ на билліоны миль, господствуютъ тѣ же законы природы, что и у насъ,—законы Кеплера и законы, относящіеся до природы свѣта. Но въ подробностяхъ эти законы зато проявляются иногда гораздо сложнѣе, чѣмъ въ нашей солнечной системѣ. Если, напримѣръ, какая-либо система состоитъ изъ трехъ солнцъ различной величины, различной температуры и съ различными атмосферами, различно вліяющими на свѣтъ, исходящій отъ этихъ солнцъ, то на планетѣ, принадлежащей къ этой системѣ, условія должны рѣзко отличаться отъ земныхъ. Стоитъ только подумать о восходѣ и заходѣ различныхъ солнцъ, о разнообразномъ освѣщеніи и о явленіи сумерекъ, раздѣленіи времени, вызываемомъ движеніемъ различныхъ солнцъ и т. п.

http://mathesis.ru

http://mathesis.ru

Звукъ

http://mathesis.ru

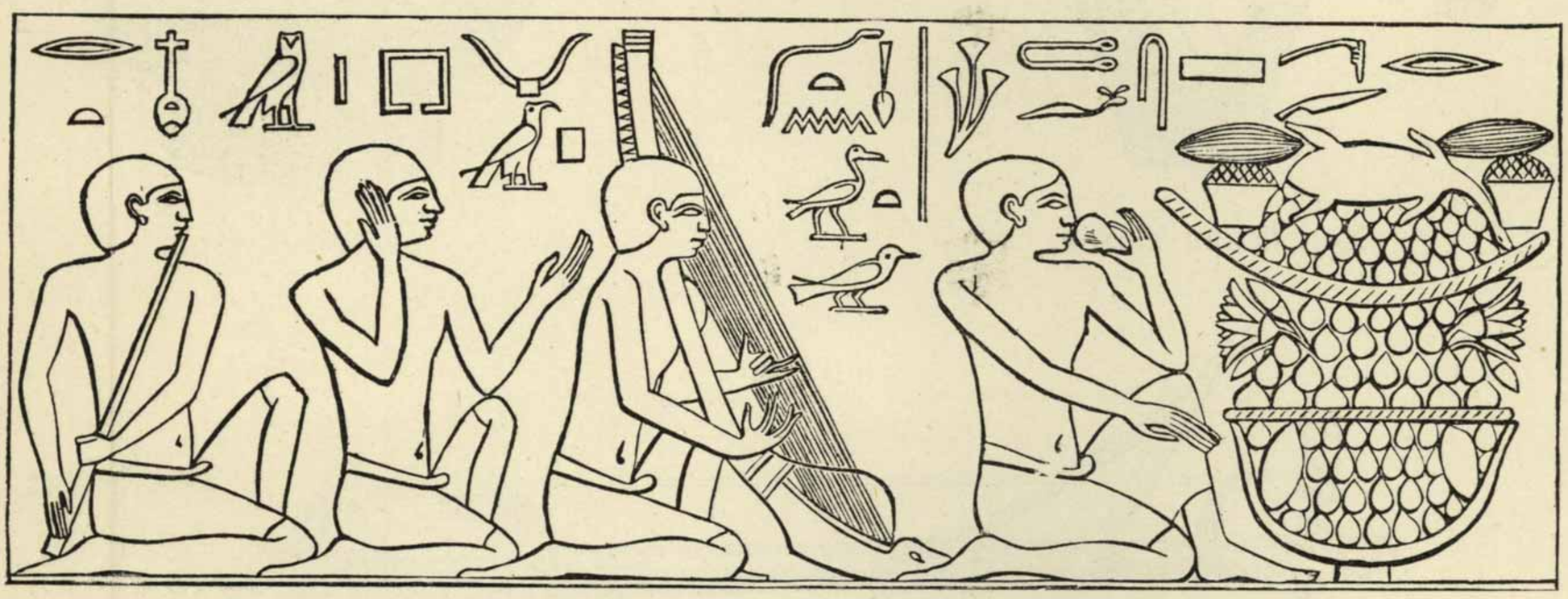
http://mathesis.ru

Звукъ

334. Природа подарила человѣчество, еще въ его колыбели, звукомъ, которымъ оно стало пользоваться непосредственно и безъ всякихъ усилій. Человѣкъ обладаетъ не только органомъ для воспріятія звука, ухомъ, но и органомъ для воспроизведенія звука, голосомъ. Не думая о строеніи и физическомъ дѣйствіи этихъ органовъ, человѣкъ сталъ ими пользоваться въ силу своихъ духовныхъ способностей и, наоборотъ, пользованіе этими органами содѣйствовало развитію его духовной стороны.

Но и здѣсь уже очень рано обнаружилась присущая человѣку изобрѣтательность. Музыку не безъ основанія называютъ старѣйшимъ изъ всѣхъ искусствъ. Въ

Рис. 310



Игра на арфѣ и на флейтѣ у древнихъ египтянъ.

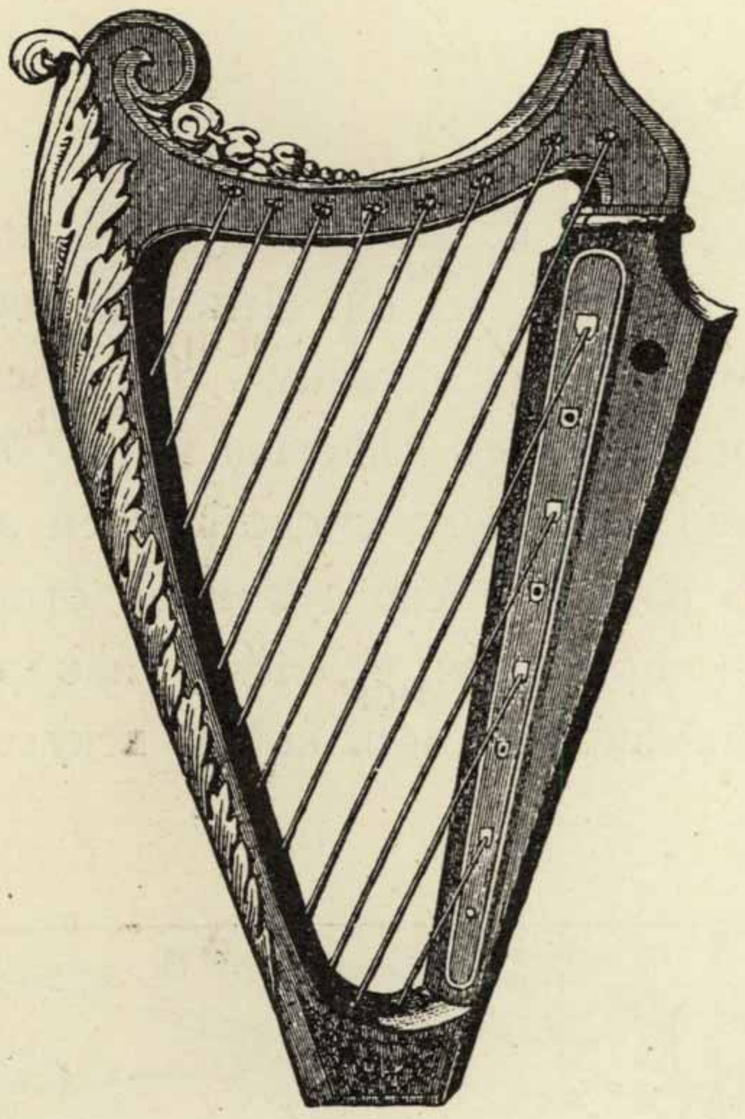
первой книгѣ Моисея 4, 21 сказано о томъ, что Ювалъ былъ „отецъ всѣхъ играющихъ на гусляхъ и свирѣли“, и во все то время, о которомъ только говорятъ исторія и легенды, у всѣхъ народовъ уже были музыкальные инструменты. Три главныхъ вида инструментовъ, которые употребляются въ настоящее время, были и тогда въ ходу, а именно: во-первыхъ, такіе инструменты,—какъ барабанъ, литавры, треугольникъ и колоколъ,—которые издаютъ только одинъ тонъ; во-вторыхъ, струнные инструменты, издающіе различные тоны, какъ цитра, арфа, скрипка, фортепіано и, въ-третьихъ, духовые инструменты. Всѣ эти три вида инструментовъ можно найти всюду на землѣ на изображеніяхъ, оставленныхъ древнѣйшими народами, а также и у народовъ на самомъ низкомъ культурномъ уровнѣ.

Существуетъ много легендъ о божественномъ происхожденіи музыки, что легко объясняется тѣмъ чарующимъ дѣйствіемъ, которое музыка оказываетъ на душу человѣка. Мы читаемъ о томъ вліяніи, какое оказывала на Саула игра Давида на арфѣ, и слышимъ о полудикомъ обитателѣ Африки, что онъ съ умиленіемъ склоняется надъ своимъ инструментомъ, извлекая изъ него слабые звуки.

http://mathesis.ru

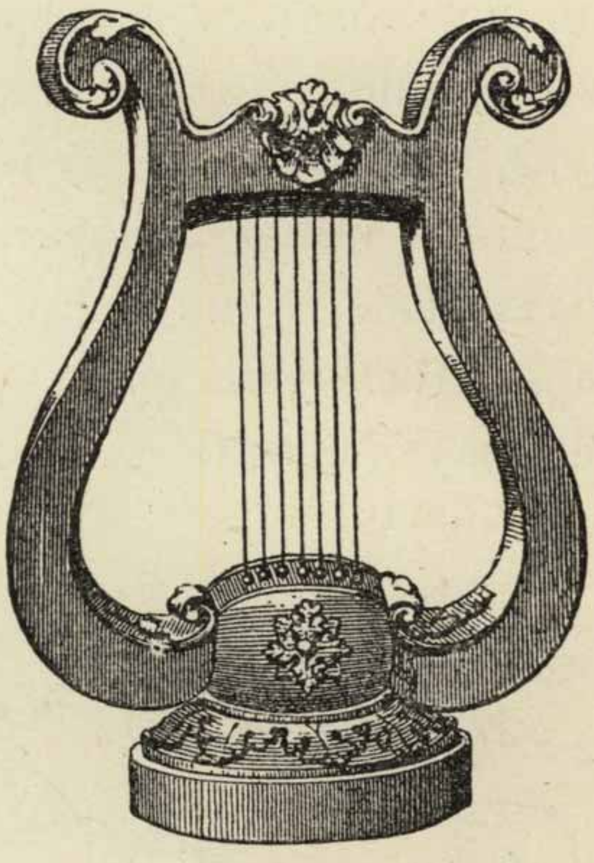
335. Человѣкъ очень рано узналъ изъ опыта, какъ изготовлять инструменты, какой длины должны быть струны и т. п. Эти правила почитались, какъ и многое другое въ древности, какъ божественное откровеніе. Числовыя соотношенія, связанныя съ высотою тоновъ, были впервые изслѣдованы Пиѳагоромъ (§ 24).

Рис. 311



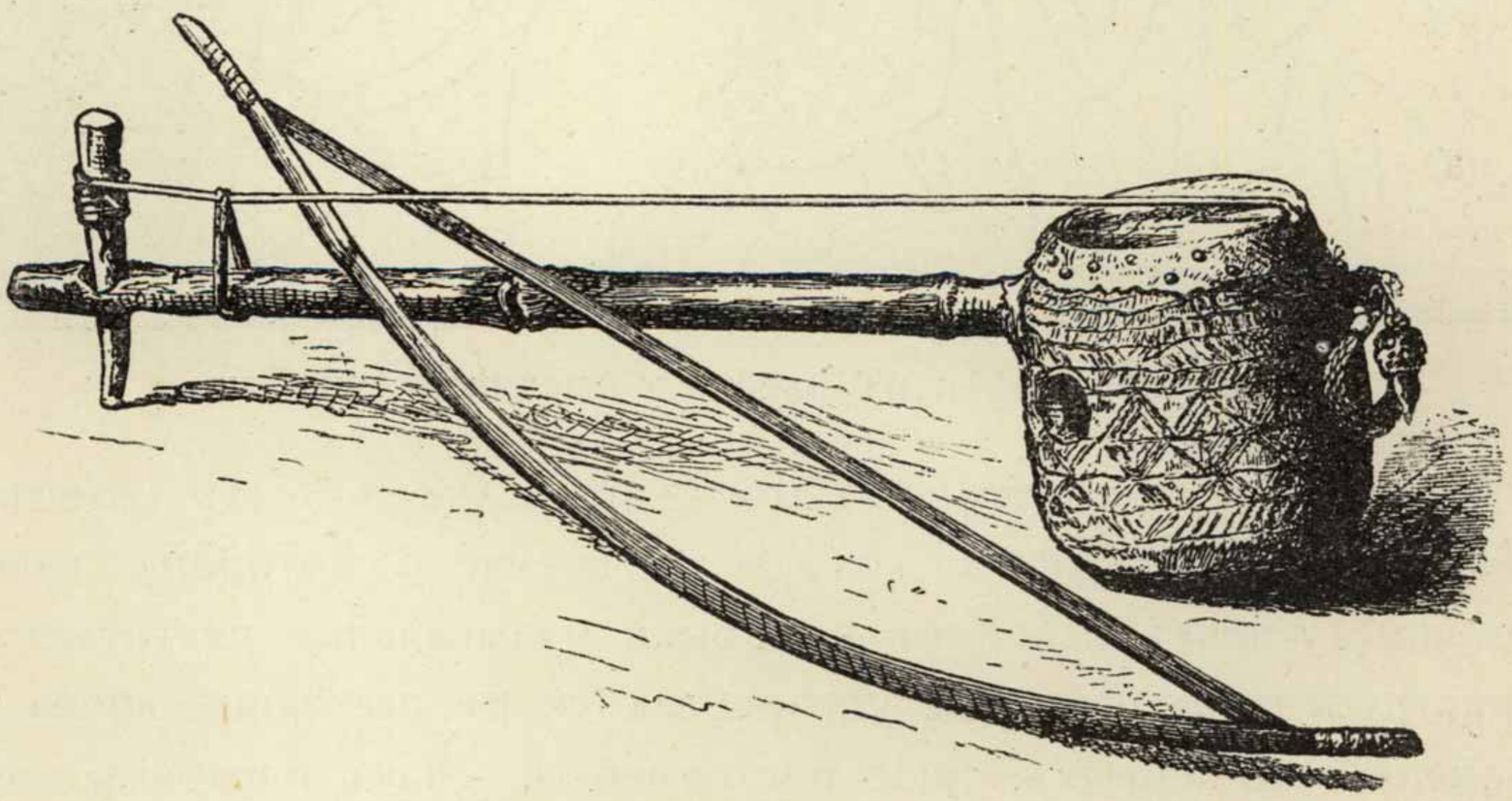
Еврейская лютня.

Рис. 312



Греческая лира.

Рис. 313



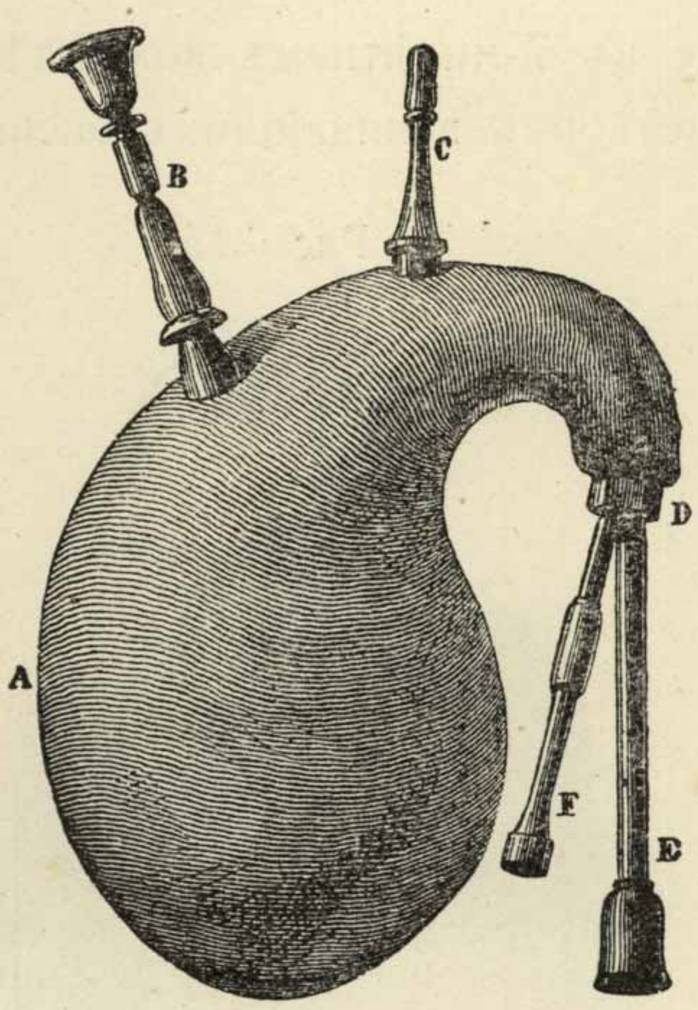
Африканская скрипка.

Какъ разсказываютъ, случайно обративъ вниманіе на то, что звонъ молотковъ въ кузницѣ давалъ музыкальную кварту, квинту и октаву, Пиѳагоръ нашелъ, что вѣсъ меньшихъ молотковъ составлялъ $^3/_4$, $^2/_3$ и $^1/_2$ вѣса бо̀льшаго. Это побудило его натягивать струну различными грузами, а также струны разной длины — однимъ и тѣмъ же грузомъ, изслѣдуя при этомъ измѣненія тона. Такъ какъ этотъ разсказъ написанъ спустя нѣсколько столѣтій, то онъ мало достовѣренъ, — но онъ представляетъ интересъ въ томъ отношеніи, что здѣсь идетъ рѣчь объ опытахъ, что́ у древнихъ грековъ было вообще совершенно неизвѣстно (ср. § 140). Пиѳагоръ нашелъ, что если

http://mathesis.ru

струна даетъ опредѣленный тонъ, то струна того же сорта и при томъ же натяженіи дастъ высшую кварту, квинту и октаву, если ея длина составляетъ $^3/_4$, $^2/_3$ и $^1/_2$ длины первой. Вообще, для того чтобы двѣ струны одинаковаго вѣса и при одинаковомъ натяженіи давали созвучіе—издавали пріятный для уха аккордъ,—ихъ длины должны находиться между собою въ простомъ отношеніи. Это находится въ полномъ соотвѣтствіи съ наблюденіемъ, сдѣланнымъ Пиѳагоромъ, что красота и въ другихъ областяхъ, напримѣръ, въ строительномъ искусствѣ, обусловливается простыми числовыми отношеніями.—Пиѳагоръ, какъ полагаютъ, добавилъ къ семи струнамъ лиры восьмую (октаву).

Рис. 314



Итальянская волынка.

Объ указанныхъ соотношеніяхъ упоминаетъ и Аристотель, прибавляя, что они также справедливы для тоновъ трубъ и ихъ длинъ. Ему также было извѣстно, что звуки вызываются колебаніями, исходящими изъ звучащаго тѣла и распространяющимися по воздуху до уха.

336. Болѣе подробно эти соотношенія были изслѣдованы французскимъ іезуитомъ Мерсенномъ (род. 1588, ум. 1648; §§ 171 и 240) въ сочиненіи, вышедшемъ въ 1636 году. Онъ нашелъ, что высота тона зависитъ исключительно отъ числа колебаній, и установилъ законъ для колебаній струнъ, заключающійся въ томъ, что число колебаній обратно пропорціонально длинѣ струны и квадратному корню изъ ея удѣльнаго вѣса и, наоборотъ, прямо пропорціонально квадратному корню изъ натягивающаго груза. Можно, напримѣръ, увеличить число колебаній струны вдвое однимъ изъ слѣдующихъ трехъ способовъ: либо уменьшеніемъ вдвое ея длины, либо уменьшеніемъ вчетверо ея вѣса, либо увеличеніемъ въ четыре раза натягивающаго груза, оставляя при этомъ прочія условія безъ измѣненія.

Мерсеннъ нашелъ далѣе, что тотъ же законъ справедливъ и для трубъ, т. е. что числа колебаній тоновъ, ими производимыхъ, обратно пропорціональны длинамъ трубъ. Труба двойной длины производитъ тонъ съ половиннымъ числомъ колебаній. Тонъ открытой трубы имѣетъ вдвое больше колебаній, чѣмъ тонъ закрытой трубы такой же длины.

Гораздо обстоятельнѣе законы колебанія струнъ были изслѣдованы столѣтіемъ позже, когда цѣлый рядъ великихъ математиковъ XVIII столѣтія (Тэйлоръ, Иванъ и Даніилъ Бернулли, Даламберъ, Эйлеръ и Лагранжъ) обработали этотъ вопросъ чисто теоретически. Прежде всего Тэйлоръ далъ точную абсолютную формулу, помощью которой можно вычислить число колебаній струны, если извѣстны ея длина, вѣсъ и натяженіе[1]).

Брукъ Тэйлоръ род. въ 1685 г. вблизи Лондона, получилъ образованіе въ Кэмбриджѣ, 27 лѣтъ сталъ членомъ Королевскаго Общества, а два года спустя его

---

[1]) Пусть длина струны будетъ l, вѣсъ единицы ея длины p, натягивающій грузъ P и ускореніе силы тяжести g (§ 149); тогда число колебаній струны будетъ

http://mathesis.ru

секретаремъ. Помимо работы, въ которой выведена упомянутая формула, онъ опубликовалъ большое число другихъ работъ какъ по чистой математикѣ (строка Тэйлора), такъ и изъ области математической физики. Онъ умеръ уже въ 1731 году.

337. Одновременно съ этимъ или даже нѣсколько раньше одному французу удалось точно опредѣлить число колебаній опытнымъ путемъ.

Жозефъ Совёръ родился въ Лафлеши въ 1653 г. Онъ плохо слышалъ и даже въ 7-милѣтнемъ возрастѣ еще не умѣлъ говорить. Тѣмъ не менѣе онъ былъ однимъ изъ величайшихъ экспериментаторовъ своего времени въ области акустики.

Рис. 315



Мерсеннъ.

Сначала Совёръ посѣщалъ іезуитскую школу, которую въ свое время посѣщали также Мерсеннъ и Декартъ. Онъ изучалъ сперва богословіе, а затѣмъ математику и физику. Средства къ существованію онъ добывалъ уроками. Совёръ работалъ также и въ области инженерныхъ наукъ; своимъ трудамъ въ этой области онъ обязанъ избраніемъ въ члены Академіи въ 1696 г. На это избраніе онъ, такъ сказать, отвѣтилъ тѣмъ, что съ этого времени посвятилъ себя одной только вѣтви науки—той именно, которая, казалось бы, была для него менѣе всего доступна—ученію о звукѣ, которое онъ, несмотря на недостатокъ слуха, подвинулъ впередъ, какъ никто другой. Умеръ онъ въ 1716 г.

338. Органные мастера нерѣдко наблюдали, что при одновременномъ звучаніи двухъ низкихъ тоновъ, близкихъ одинъ къ другому, возникаютъ своеобразные толчки или біенія. Одно мгновеніе тонъ силенъ, а въ слѣдующее—слабъ, затѣмъ опять силенъ и опять слабъ и т. д., повторяясь въ опредѣленномъ тактѣ. Но объяснить это явленіе не умѣли.

Услышавъ объ этомъ, Совёръ тотчасъ же понялъ, въ чемъ дѣло. Если, напримѣръ, одинъ тонъ совершаетъ 34 колебанія въ секунду, а другой 35 колебаній, то въ началѣ и въ концѣ секунды оба тона находятся въ одной и той же фазѣ колебанія, вслѣдствіе чего они усиливаютъ другъ друга; въ серединѣ же секунды они находятся въ противоположныхъ фазахъ и поэтому ослабляютъ другъ друга. Въ такомъ случаѣ тонъ испытываетъ одно усиленіе и одно ослабленіе въ теченіе каждой секунды. Если одинъ тонъ совершаетъ 34 колебанія, а другой 36 колебаній въ секунду, то эти тоны взаимно усиливаютъ другъ друга въ началѣ, въ серединѣ и въ

$$n = \frac{1}{l}\sqrt{\frac{P.g}{p}}.$$

Если, напримѣръ, стальная струна длиною въ 1000 *мм* съ поперечнымъ сѣченіемъ въ 1 *квмм* натянута грузомъ въ 7·5 *кг* или 7500 *г*, то вѣсъ одного миллиметра струны равенъ 0·0075 *г* (удѣльн. вѣсъ стали 7·5), а число ея колебаній будетъ

$$n = \frac{1}{1000}\sqrt{\frac{7500 \times 10000}{0{\cdot}0075}} = 100.$$

http://mathesis.ru

концѣ секунды и ослабляютъ другъ друга въ промежуткахъ. Тогда получается два біенія въ секунду. Если разность чиселъ колебаній равна тремъ, то получится три біенія въ секунду и т. д. Конечно, нѣтъ необходимости быть музыкальнымъ, чтобы слышать эти біенія, и Совёръ понялъ, что это явленіе можетъ служить удобнымъ и интереснымъ средствомъ для опредѣленія того, совпадаютъ ли вполнѣ два данные тона или нѣтъ.

Совёръ воспользовался этимъ явленіемъ не только для опредѣленія разности чиселъ колебаній двухъ источниковъ звука, но и для полученія абсолютнаго числа ихъ колебаній. Напримѣръ, онъ нашелъ, что его двѣ органныя трубы длиною около 5 футовъ давали одно біеніе въ секунду. Точное измѣреніе обнаружило, что длины этихъ трубъ относились, какъ 100 къ 101. Если число колебаній болѣе длинной трубы обозначить черезъ x, то число колебаній болѣе короткой трубы будетъ $x+1$, такъ какъ эти двѣ трубы давали одно біеніе въ секунду. Но такъ какъ числа колебаній обратно пропорціональны длинамъ трубъ, то имѣетъ мѣсто пропорція

$$\frac{x+1}{x} = \frac{101}{100}.$$

Отсюда $x = 100$. Совёръ предложилъ принять этотъ тонъ въ 100 колебаній въ секунду за нормальный тонъ. Однако, это предложеніе не было осуществлено. Для музыки неважно, имѣетъ ли нормальный тонъ такое круглое число колебаній или нѣтъ. Даже въ настоящее время не всюду принятъ одинъ и тотъ же „камертонъ“. Въ однѣхъ странахъ для настраиванія музыкальныхъ инструментовъ за нормальный принимаютъ тонъ въ 435 колебаній, въ другихъ — въ 440 колебаній.

Французскій математикъ Лагранжъ при помощи біеній объяснилъ въ 1759 г. такъ называемые тоны Тартини. Итальянскій музыкантъ Тартини за нѣсколько лѣтъ до смерти Совёра обратилъ вниманіе на то, что при одновременномъ звучаніи двухъ довольно различныхъ тоновъ слышится также еще и третій, болѣе низкій тонъ. А именно, чѣмъ больше разность чиселъ колебаній двухъ тоновъ, дающихъ біенія, тѣмъ быстрѣе послѣднія слѣдуютъ другъ за другомъ. Если эта разность равна 10, то въ каждую секунду слышны 10 біеній, которыя производятъ впечатлѣніе рокочущаго шума. Если разность еще больше, то это рокотаніе переходитъ въ музыкальный тонъ. Если, напримѣръ, одинъ изъ тоновъ совершаетъ 400 колебаній въ секунду, а другой 600, то получается 200 біеній въ секунду, которыя чуткимъ ухомъ воспринимаются, какъ тонъ въ 200 колебаній.

Къ Совёру мы еще вернемся ниже. Теперь мы должны разсмотрѣть нѣкоторыя другія свойства звука.

339. Нерѣдко приходится наблюдать, что ударъ, производимый на нѣкоторомъ разстояніи отъ насъ молотомъ, трамбовкой и т. д., воспринимается ухомъ нѣсколько позже, чѣмъ глазомъ, такъ что звукъ, очевидно, употребляетъ извѣстное время для того, чтобы пройти данное разстояніе. Это явленіе, конечно, было извѣстно древнимъ и о немъ упоминаетъ также и Аристотель. По его мнѣнію, низкіе тоны распространяются медленнѣе высокихъ.

Ложность этого утвержденія была обнаружена Пьеромъ Гассенди (1592—1655). Въ отдаленномъ мѣстѣ производились выстрѣлы изъ пушки и изъ ружья и Гассенди измѣрялъ промежутокъ времени между появленіемъ свѣта и звука. Онъ нашелъ, что низкій звукъ пушечнаго выстрѣла и высокій звукъ ружейнаго дости-

http://mathelib.ru

гаютъ уха въ совершенно одинаковые промежутки времени. Такимъ образомъ, Гассенди является первымъ, о которомъ извѣстно, что онъ дѣйствительно произвелъ измѣреніе скорости звука, хотя оно было и не вполнѣ точно. Въ теченіе слѣдующаго вѣка скорость распространенія звука опредѣлялась и другими наблюдателями, но результаты различныхъ опытовъ значительно разнились другъ отъ друга. Гассенди нашелъ 1473 парижскихъ фута, Мерсеннъ 1380, Accademia del Cimento 1077, Бойль 1126, Дом. Кассини, Гюйгенсъ, Пикаръ и Рёмеръ 1097, Флэмстидъ и Галлей 1071. Различія въ числахъ отчасти обусловливаются, несомнѣнно, недостаточной точностью измѣреній, а отчасти, вѣроятно, и состояніемъ воздуха, что большинствомъ наблюдателей не принималось во вниманіе въ должной мѣрѣ.

Важныя наблюденія надъ распространеніемъ звука были произведены Вильямомъ Дергэмомъ (1657—1735). Онъ былъ богословомъ, но очень интересовался также явленіями природы и былъ членомъ Королевскаго Общества. Онъ нашелъ, что звукъ быстрѣе распространяется по вѣтру, чѣмъ противъ вѣтра, что Accademia del Cimento отрицала. Дергэмъ доказалъ, что звуки различной высоты распространяются съ одинаковой скоростью. Музыкальная пьеса доносится издали вполнѣ вѣрно, безъ запаздыванія низкихъ тоновъ. Дергэмъ нашелъ, что звукъ пистолетнаго выстрѣла распространяется одинаково быстро впередъ, назадъ, вверхъ, внизъ и по горизонтальному направленію. Но относительно силы звука онъ нашелъ, что она, напротивъ, не всегда одна и та же: въ теплый лѣтній день она меньше, чѣмъ въ холодный зимній. Какъ это ни странно, но Дергэмъ не обратилъ вниманія на то, что эти обстоятельства оказываютъ вліяніе и на скорость распространенія звука. Первый, сдѣлавшій наблюденіе въ этомъ направленіи, былъ знаменитый итальянскій врачъ, графъ Біанкони (1717—1781). Пользуясь очень большими разстояніями, Біанкони нашелъ, что скорости распространенія звука выстрѣла лѣтомъ при 35^0 Ц. и зимою при $-1{\cdot}5^0$ относятся между собою, какъ 76 къ 79. Кондаминъ (§ 278) нашелъ, что скорость звука на возвышенности Квито меньше, чѣмъ въ болѣе теплой Кайеннѣ. Наблюденія Бенценберга (§ 296) въ 1811 году окончательно установили, что въ тепломъ воздухѣ скорость звука больше, чѣмъ въ холодномъ.

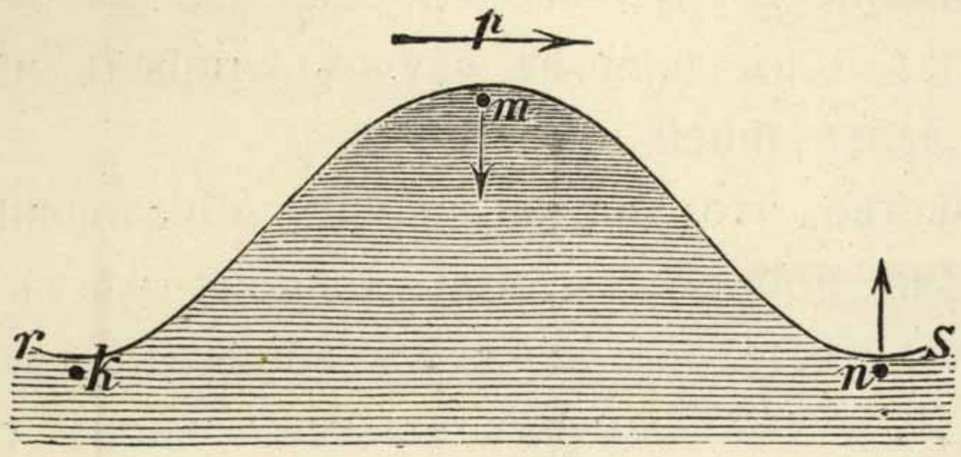
340. На эти изслѣдованія, которыми кромѣ упомянутыхъ ученыхъ занималось также много другихъ, обратилъ вниманіе и Ньютонъ въ своихъ „Principia“ (§ 297). Для этого онъ разсматриваетъ въ своемъ сочиненіи распространеніе волны въ водѣ и въ воздухѣ.

Пусть rps (рис. 316) представляетъ поверхность воды, которая въ опредѣленный моментъ въ точкѣ p выше, чѣмъ въ точкѣ s; въ такомъ случаѣ частица воды m будетъ опускаться внизъ, между тѣмъ какъ частица n будетъ подниматься. Ньютонъ разсматриваетъ затѣмъ движеніе воды въ изогнутой трубкѣ (рис. 317), имѣющей длину l, въ одномъ колѣнѣ которой вода въ опредѣленный моментъ на величину a выше спокойнаго уровня, а въ другомъ на столько же ниже его. Въ этомъ случаѣ вода должна придти въ движеніе и, достигнувъ съ опредѣленной скоростью положенія равновѣсія, въ силу инерціи она перейдетъ черезъ него и уйдетъ отъ него въ другую сторону на такую же величину, на какую сначала не доходила до него (если не принимать во вниманіе тренія). На мгновеніе дѣйствующей силой будетъ сила тяжести столба воды высотою въ $2a$. Но эта сила приводитъ въ движеніе всю массу воды l. Вслѣдствіе этого масса движется не съ ускореніемъ g, а съ ускоре-

http://mathesis.ru

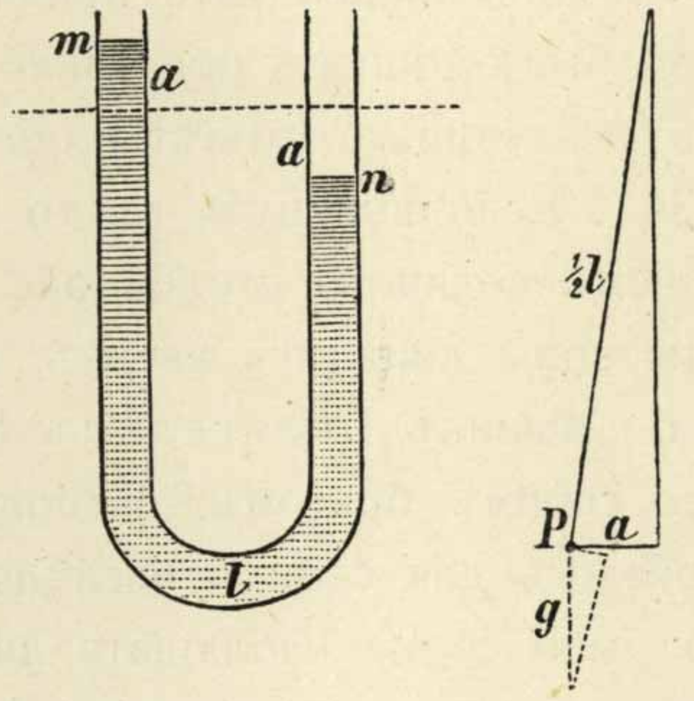
ніемъ только $\frac{2a}{l} \cdot g$ или $\frac{2ag}{l}$. Если вообразить себѣ простой маятникъ, подвѣшенный на ниткѣ длиною въ $^1/_2\, l$, т. е. тѣло P, подвѣшенное на нити указанной длины и въ данный моментъ находящееся на разстояніи a отъ положенія равновѣсія, то это тѣло будетъ двигаться не съ полнымъ ускореніемъ силы тяжести, а лишь съ частью его,

Рис. 316



Распространеніе волны.

Рис. 317



Движеніе воды въ изогнутой трубкѣ.

равной $\frac{a}{^1/_2\, l}$ (треугольникъ, указанный пунктиромъ, подобенъ большому треугольнику). Такимъ образомъ, ускореніе равно $\frac{a}{^1/_2\, l} \cdot g = \frac{2ag}{l}$. На тѣло P, слѣдовательно, дѣйствуетъ та же ускорительная сила, что и на массу воды въ трубкѣ. Поэтому вода должна достигнуть положенія равновѣсія въ то же самое время, какъ и маятникъ. По прошествіи вдвое бо̀льшаго времени вода въ лѣвомъ колѣнѣ будетъ занимать самое низкое положеніе, въ правомъ наивысшее, а маятникъ за то же время совершитъ полное качаніе слѣва направо.

Пусть рис. 316 изображаетъ поверхность воды, по которой движеніе распространяется слѣва направо; въ такомъ случаѣ частица m опускается, а частица n поднимается, какъ въ трубкѣ, и явленіе должно совершаться въ существенномъ по тому же закону—съ тѣмъ только различіемъ, что столбъ воды между m и n, приводимый въ движеніе, не имѣетъ заранѣе опредѣленной формы, какъ въ трубкѣ. Теперь уже высотою столба воды будетъ высота точки m надъ n. Горизонтальное разстояніе этихъ точекъ представляетъ собою половину длины волны, такъ какъ подъ длиною волны разумѣютъ разстояніе между гребнями или между долинами двухъ сосѣднихъ волнъ. Когда частица m опустится внизъ, то частица k новой волной подымется кверху, и теперь уже k будетъ тянуть m вверхъ. Когда m подымется вверхъ, то поверхность воды снова будетъ въ томъ положеніи, съ какого мы начали наше разсужденіе. За это время волна успѣла подвинуться до n, а затѣмъ еще на такое же разстояніе, т. е. на цѣлую длину волны. Въ теченіе того же самаго времени маятникъ длиною въ $^1/_2\, l$ успѣваетъ совершить одно колебаніе вправо и одно влѣво. Маятникъ вчетверо длиннѣе, т. е. длиною въ $2\, l$, успѣлъ бы въ то же самое время совершить одно колебаніе слѣва направо. Отсюда мы заключаемъ, что волны на поверхности жидкости распространяются на цѣлую длину волны ($2\, l$) за то же время, въ теченіе котораго маятникъ такой же длины ($2\, l$) совершаетъ одно колебаніе.

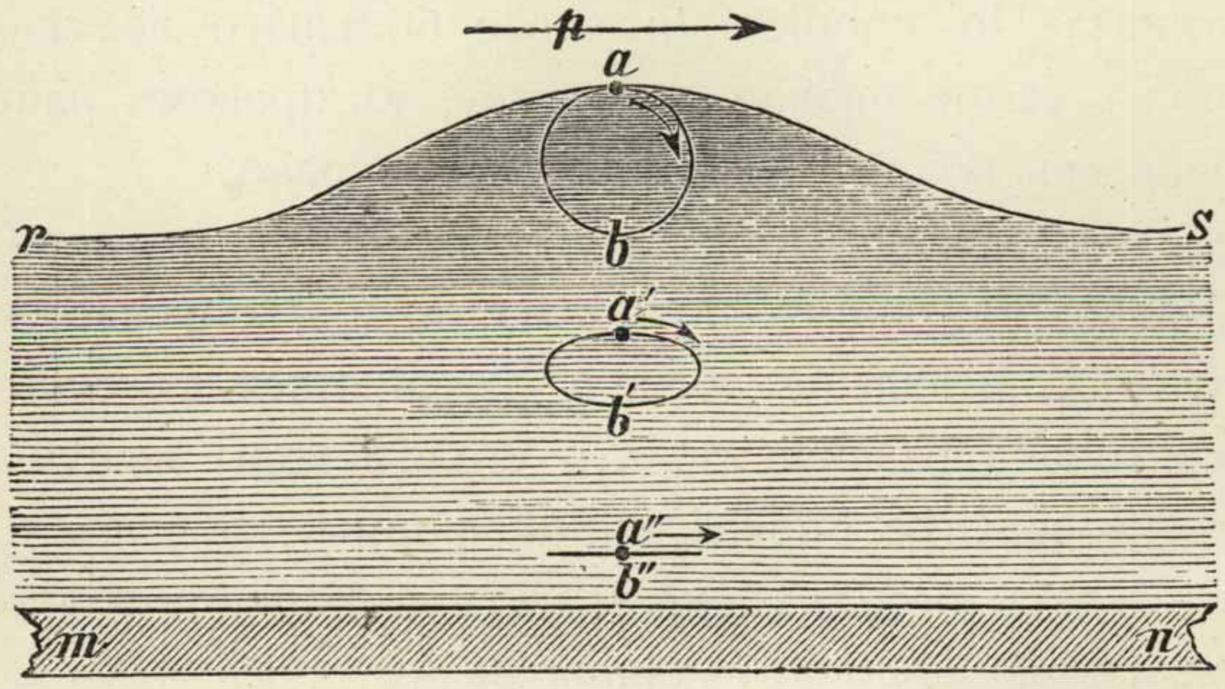
http://mathesis.ru

Примѣръ. Если волны нѣкоторой опредѣленной системы въ 9 разъ длиннѣе волнъ другой системы, то первыя распространяются на длину волны во время, втрое бóльшее, чѣмъ послѣднія, такъ какъ маятникъ, который въ 9 разъ длиннѣе, употребляетъ втрое больше времени на одно колебаніе. А если первыя волны совершаютъ въ утроенное время путь, въ девять разъ большій, то онѣ должны двигаться втрое быстрѣе послѣднихъ.

Впослѣдствіи оказалось, однако, что формула Ньютона нуждается въ исправленіи, а именно, должна быть принята во вниманіе и глубина жидкости. Но въ общемъ вопросъ былъ рѣшенъ правильно. Ньютонъ и въ данномъ случаѣ открылъ математикамъ слѣдующаго столѣтія область для дальнѣйшей разработки.

341. Если вникнуть въ то обстоятельство, что движеніе волнъ обусловливается движеніемъ водяного столба рис. 316, то мы поймемъ, что въ данномъ мѣстѣ однѣ частицы воды движутся вверхъ, въ другомъ мѣстѣ онѣ движутся вбокъ, въ третьемъ —внизъ. Физикъ Вильгельмъ Веберъ (II, § 242) изучалъ движеніе волнъ совмѣстно со своимъ братомъ, физіологомъ Эрнстомъ Веберомъ (1795—1878). Они пользовались для своихъ изслѣдованій жолобомъ со стеклянными стѣнками, такъ что можно было сбоку наблюдать движеніе воды. Веберы пускали въ воду маленькія крупинки одинаковаго съ водою вѣса, напримѣръ, частицы торфа и наблюдали въ микроскопъ движеніе этихъ частицъ. Волны производили стеклянной трубкой, помощью которой наблюдатели могли въ одномъ концѣ жолоба вытягивать нѣкоторое количество воды вверхъ, а затѣмъ заставлять ее падать обратно внизъ. Оказалось,

Рис. 318



Движеніе частицъ воды въ жолобѣ Веберовъ.

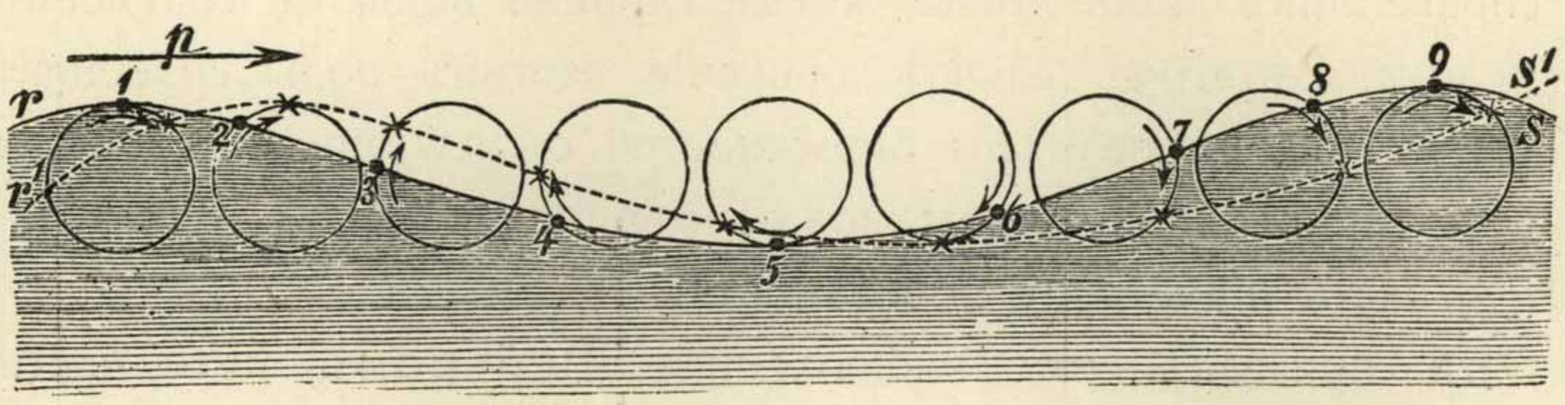
что частички торфа, а слѣдовательно, и частицы воды описываютъ круговые пути во время прохожденія гребня и долины волны; причемъ движеніе частицъ направлено впередъ, когда онѣ находятся въ самой высокой точкѣ своего пути, т. е. когда онѣ находятся на вершинѣ гребня волны (*a*, рис. 318); движеніе это направлено назадъ, когда частицы находятся въ самомъ низкомъ мѣстѣ своего пути, т. е. на днѣ долины волны. Далѣе оказалось, что пути частицъ эллиптическіе. На самомъ верху пути были довольно близки къ круговымъ, нѣсколько ниже они были болѣе сплюснутые, а на днѣ они представляли прямыя линіи, по которымъ частицы воды двигались впередъ и назадъ. Изъ движенія отдѣльныхъ частицъ воды легко объяснить и все движеніе волны. На рис. 319 показаны круговые пути девяти водяныхъ частицъ, съ отмѣчен-

http://mathesis.ru

нымъ на нихъ положеніемъ частицъ въ опредѣленный моментъ. Волна подвигается слѣва направо и частица 1 занимаетъ во взятый моментъ наивысшую точку своего пути, частица 2 отстоитъ на $^1/_8$ отъ этого положенія, частица 3—на $^1/_4$ и т. д. Волна имѣетъ въ этотъ моментъ форму 1, 2, 3 . . . 9. Но спустя короткое время ($^1/_8$ времени колебанія) частица 2 займетъ положеніе частицы 1, 3—положеніе частицы 2 и т. д., т. е. вся волна подвинется нѣсколько впередъ (въ положеніе, указанное пунктирной линіей).

Если вѣтеръ дуетъ въ томъ же направленіи, въ которомъ движутся волны, то онъ дѣйствуетъ на нихъ, какъ нетрудно видѣть, усиливающимъ образомъ, такъ какъ

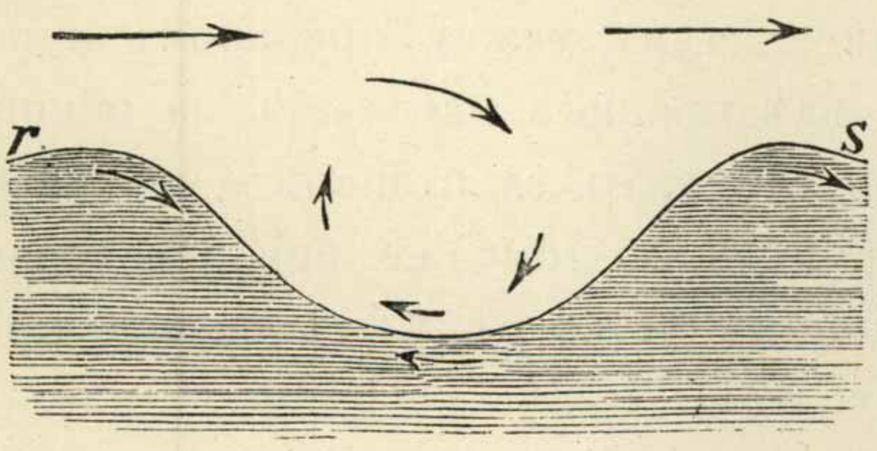
Рис. 319



Движеніе отдѣльныхъ частицъ воды въ волнѣ.

онъ ускоряетъ движеніе частицъ, находящихся на гребняхъ волнъ (рис. 320). Напротивъ, въ долинахъ волнъ вѣтеръ вліяетъ въ томъ же направленіи, но не такъ сильно. И даже въ такой долинѣ можетъ возникнуть небольшой вихрь, имѣющій на днѣ впадины направленіе прямо противоположное направленію вѣтра, т. е. то направленіе, въ которомъ движутся частицы воды въ этомъ мѣстѣ. Вслѣдствіе того, что вѣтеръ, такимъ образомъ, усиливаетъ движеніе частицъ воды, когда онѣ находятся въ наивысшей точкѣ своего пути, и такъ какъ, съ другой стороны, онъ, во всякомъ случаѣ, не замедляетъ ихъ и тогда, когда онѣ занимаютъ самое низкое положеніе, а, можетъ быть, даже и здѣсь ускоряетъ еще ихъ движеніе, то въ результатѣ подъ дѣйствіемъ вѣтра получается постепенное увеличеніе волнъ.

Рис. 320



Дѣйствіе вѣтра на волны.

Возникающія вначалѣ маленькія волны вѣтеръ приводитъ въ движеніе благодаря прилипанію воздуха къ поверхности воды. То же имѣетъ мѣсто и на поверхности отдѣльныхъ большихъ волнъ, вслѣдствіе чего поверхность ихъ въ вѣтреную погоду не гладка, а покрыта рябью. Эти маленькія волны представляютъ множество точекъ для напора вѣтра. Движеніе гребней отъ этого ускоряется по сравненію съ движеніемъ долинъ, что̀ можетъ привести въ концѣ концовъ къ тому, что волна „разобьется“ (опрокидывающіеся гребни) и обрушится въ свою долину.

Это не будетъ имѣть мѣста въ томъ случаѣ, когда на поверхности воды находится тонкій слой масла. Одна капля масла можетъ покрыть большую поверхность воды. Масло уменьшаетъ прилипаніе между воздухомъ и водой и мѣшаетъ образованію

http://mathesis.ru

ряби на поверхности волнъ, такъ что у вѣтра уже нѣтъ точекъ опоры для давленія на поверхность волны и его дѣйствіе не достигаетъ такой силы, чтобы могло разбивать волны. Вотъ почему съ корабля, идущаго въ бурную погоду по вѣтру, нерѣдко выливаютъ на воду немного масла. Тогда море позади корабля, откуда приходятъ волны, остается гладкимъ и этимъ уменьшается вѣроятность того, что волна настигнетъ судно и что ея гребень опрокинется и обрушится на палубу.

342. Иначе обстоитъ дѣло съ волнами, которыя можно всюду наблюдать, когда онѣ набѣгаютъ на морской берегъ.

Англійскій астрономъ Джорджъ Эри (1801—1892), выполнившій много прекрасныхъ работъ на обсерваторіяхъ въ Кэмбриджѣ и Гриничѣ, изучилъ движеніе волнъ математически и показалъ, что законъ Ньютона для поступательнаго движенія волнъ справедливъ лишь тогда, когда глубина воды въ сравненіи съ длиною волны очень велика. Въ этомъ случаѣ движеніе частицъ воды совершается по кругамъ на любой глубинѣ, но размѣры окружностей съ глубиной быстро уменьшаются, такъ что на разстояніи одной длины волны отъ поверхности діаметръ окружности составляетъ $^1/_{535}$ часть діаметра у поверхности.

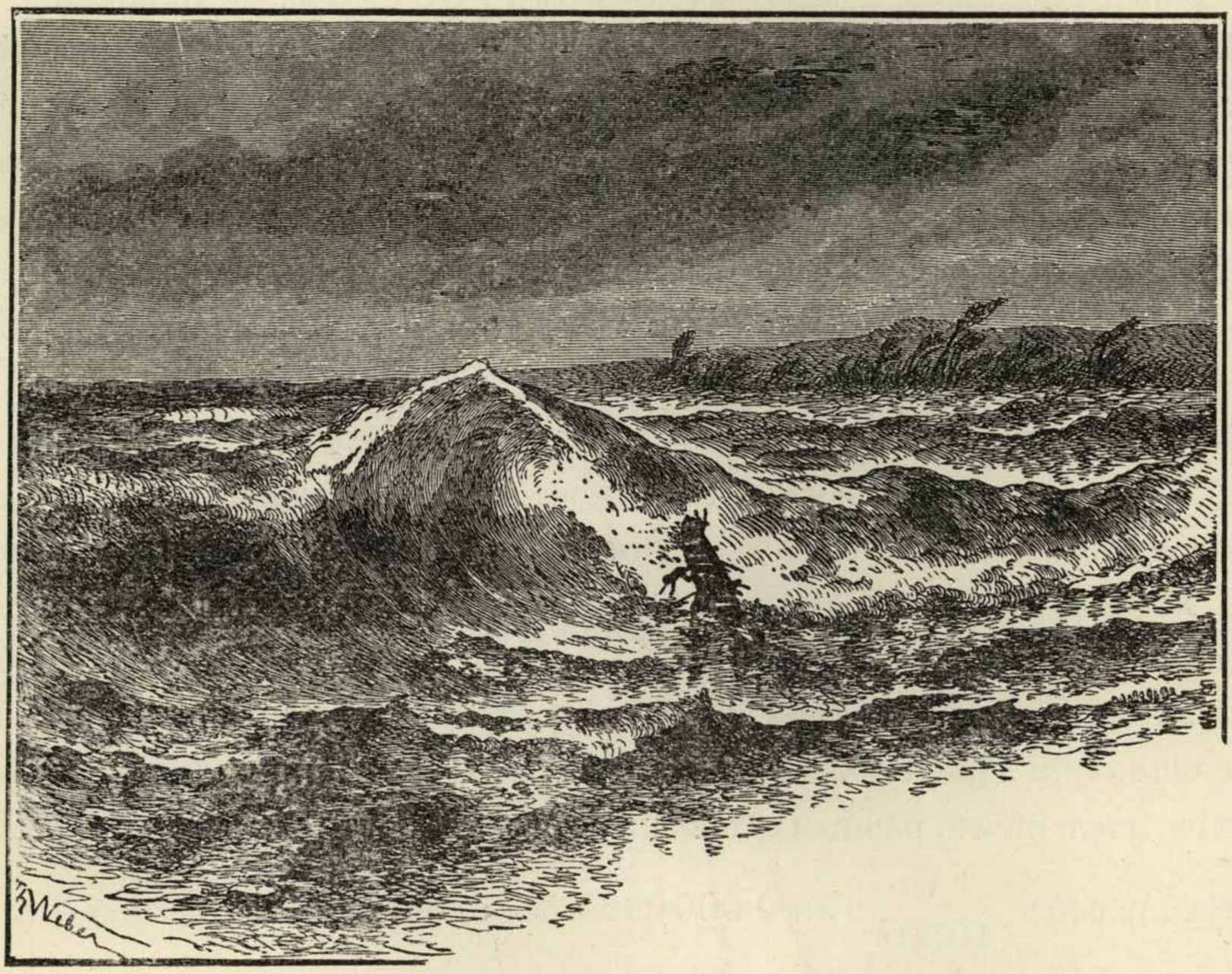
Далѣе Эри показалъ, что наблюденные Веберомъ пути частицъ имѣютъ мѣсто, когда глубина воды незначительна въ сравненіи съ длиною волны. Поступательная скорость волны въ этомъ случаѣ пропорціональна квадратному корню изъ глубины. А такъ какъ глубина воды подъ гребнемъ волны значительно больше, чѣмъ подъ долиной, то гребень долженъ двигаться быстрѣе, чѣмъ долина; слѣдствіемъ этого является то, что волна разбивается въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ глубина невелика и гдѣ, слѣдовательно, разница между глубиною подъ гребнемъ и подъ долиной имѣетъ бо̀льшее значеніе. То же самое относится и къ волнамъ прилива и отлива, которыя весьма велики даже въ сравненіи съ глубиною океана, а особенно въ сравненіи съ относительно неглубокимъ Сѣвернымъ моремъ. Поэтому промежутокъ времени между отливомъ и слѣдующимъ за нимъ приливомъ короче, чѣмъ между приливомъ и послѣдующимъ отливомъ. Въ нѣкоторыхъ мѣстахъ, гдѣ приливъ набѣгаетъ на обширное мелкое мѣсто, онъ можетъ даже такъ быстро слѣдовать за отливомъ, что волна прилива опрокидывается въ долину волны отлива. Если къ тому же приливъ усиливается тѣмъ, что попадаетъ въ суживающееся клиномъ устье рѣкъ, то явленіе прилива можетъ производить страшныя дѣйствія (рис. 321).

343. Въ воздушной волнѣ, идущей горизонтально, отдѣльныя частицы движутся не вверхъ и внизъ, а впередъ и назадъ, подобно частицамъ воды на днѣ жолоба Веберовъ. Вслѣдствіе этого въ воздухѣ возникаютъ сгущенія и разрѣженія, какъ это показано на рис. 322. Пусть каждая малая часть линіи $a\,b$ изображаетъ путь частицы воздуха, а стрѣлка p пусть указываетъ направленіе движенія волны. Въ опредѣленный моментъ частица 1 находится въ серединѣ своего пути и движется въ направленіи, указанномъ маленькой стрѣлкой. Частица 2 по отношенію къ первой частицѣ нѣсколько отстаетъ. Частица 3 отстаетъ еще больше. Она занимаетъ крайнее лѣвое положеніе своего пути. Частица 4 еще не достигла своей крайней лѣвой точки, 5 находится въ серединѣ своего пути, но движется влѣво и т. д. Такимъ образомъ, частицы воздуха находятся ближе всего другъ къ другу въ мѣстахъ 1, 9, 17 . . ., слѣдовательно, въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ отдѣльныя частицы движутся въ томъ же направленіи, какъ и вся волна. Наиболѣе удалены частицы другъ отъ друга въ мѣ-

http://mathesis.ru

стахъ 5, 13 . . ., т. е. тамъ, гдѣ направленіе ихъ движенія противоположно движенію волны. На линіи *c d* частицы воздуха занимаютъ тѣ положенія, въ которыхъ онѣ находятся спустя $^1/_4$ времени колебанія. Теперь частицы расположены гуще всего у 3, 11 . . . и наиболѣе удалены другъ отъ друга у 7, 15 . . . Волна подвинулась на $^1/_4$ длины волны и т. д.

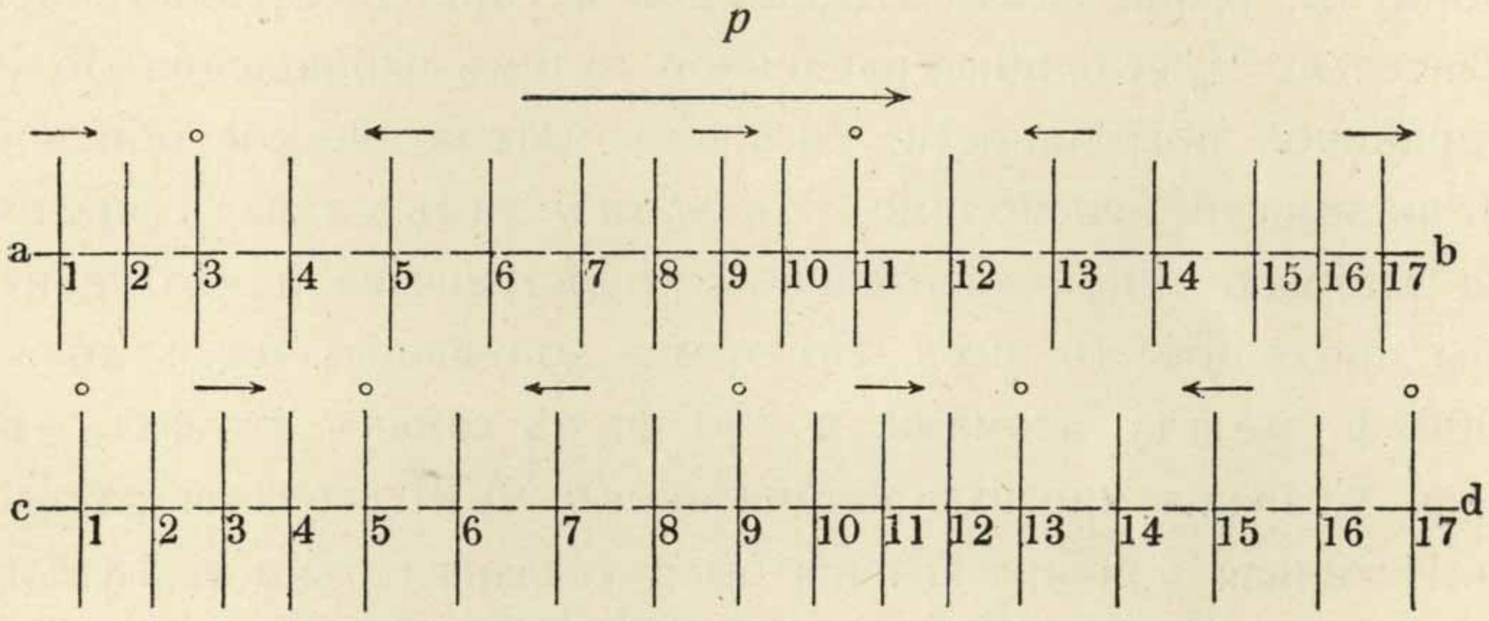
Рис. 321



Приливная волна на р. Амазонкѣ.

344. Скорость, съ которой распространяется это движеніе, есть скорость звука, величина которой, какъ было найдено путемъ наблюденій, равна 1100 футамъ или 330 метрамъ въ секунду (§ 339). Ньютонъ показалъ, что скорость звука можно опредѣлить

Рис. 322



Распространеніе воздушныхъ волнъ.

также теоретическимъ путемъ, даже при распространеніи звука въ любомъ тѣлѣ. Если представить себѣ столбъ изъ даннаго вещества высотой въ 1 *м*, то вслѣдствіе собственнаго вѣса онъ долженъ быть нѣсколько сжатъ, причемъ степень сжатія будетъ зависѣть отъ взятаго вещества. Зная величину этого сжатія, составляющую незначи-

http://mathesis.ru

тельную долю метра, можно вычислить скорость звука въ этомъ тѣлѣ. Ньютонъ показалъ, что скорость звука въ каждомъ тѣлѣ выражается формулой $\sqrt{\frac{g}{e}}$, если черезъ e обозначить величину указаннаго сжатія.

Нѣтъ ничего удивительнаго въ томъ, что скорость звука опредѣляется столь простой и общей формулой. Дальнѣйшіе выводы изъ этой формулы не могутъ быть здѣсь приведены. Но легко убѣдиться въ томъ, что двумя величинами, входящими въ нее, охвачены всѣ условія, отъ которыхъ зависитъ скорость звука. Нужно думать, что сгущеніе распространяется въ тѣлѣ тѣмъ быстрѣе, чѣмъ больше сопротивленіе, которое ~~оно~~ тело оказываетъ сжатію, и чѣмъ тѣло легче. Скорость звука, слѣдовательно, должна быть тѣмъ больше, чѣмъ меньше сжатіе e, испытываемое тѣломъ вслѣдствіе своего собственнаго вѣса. — Сжатіе это, очевидно, тѣмъ больше, чѣмъ больше притягательная сила земли. Съ другой стороны, скорость звука должна зависѣть исключительно отъ вещества тѣла. На лунѣ, напримѣръ, она должна быть такой же, какъ и на землѣ. Но на лунѣ сжатіе, обусловленное собственнымъ вѣсомъ, равняется только $^1/_6\, e$. А такъ какъ сила тяжести тамъ равна только $^1/_6\, g$, то отношеніе, которое опредѣляетъ собой скорость звука, остается безъ измѣненія. Формула даетъ скорость звука въ секунду, такъ какъ g представляетъ скорость падающаго тѣла въ секунду.

Если нужно вычислить скорость звука въ воздухѣ, то предварительно нужно получить величину e. Представимъ себѣ 1 *кбсм* воздуха при обыкновенномъ давленіи, т. е. подъ давленіемъ, равнымъ давленію столба ртути высотой въ 0·760 *м*. Вѣсъ столба воздуха равенъ $\frac{1}{10500}$ или 0·000095 вѣса одного *кбсм* ртути (§ 263). Воздухъ, слѣдовательно, сжатъ въ отношеніи $\frac{760000}{760095} = 0{\cdot}999875$. Столбъ воздуха въ 1 *м* высотой, слѣдовательно, сжимается приблизительно на 0·000125 или на $\frac{1}{8000}$. Это и есть величина e. Такъ какъ g равно приблизительно 10 *м*, то g/e равно 80000. Квадратный корень изъ этого числа равенъ 283. Скорость звука въ воздухѣ, полученная изъ формулы, равна, слѣдовательно 283 *м* (приблизительно 900 ф.). Это число равно приблизительно $^5/_6$ величины, найденной путемъ наблюденія. Долго ломали себѣ голову надъ причиной погрѣшности, такъ какъ математическое обоснованіе формулы было по всей видимости неоспоримо. Ньютонъ самъ сдѣлалъ предположеніе, что атомы воздуха занимаютъ приблизительно $^1/_6$ пространства и что звуку не требуется времени, чтобы проходить въ нихъ. По этому допущенію звукъ долженъ пробѣгать въ секунду 900 ф. между атомами, а 200 ф. въ самихъ атомахъ — всего, слѣдовательно, 1100 ф. Старанія многихъ математиковъ XVIII столѣтія разъяснить дѣло не имѣли успѣха. Истинная причина явленія была указана только въ 1816 г. Лапласомъ.

345. Пьеръ Симонъ Лапласъ, родившійся въ 1749 году, началъ свою карьеру математикомъ и въ качествѣ такового прибылъ въ Парижъ, гдѣ сталъ членомъ Академіи наукъ. При Наполеонѣ онъ сдѣлался министромъ и канцлеромъ, имъ же онъ былъ возведенъ въ графское достоинство. При Людовикѣ XVIII Лапласъ былъ сдѣланъ пэромъ и маркизомъ. Онъ умеръ въ 1827 г. въ Парижѣ.

Лапласъ расширилъ и продолжилъ во многихъ отношеніяхъ начатыя Ньюто-

http://mathesis.ru

номъ теоретическія работы, въ томъ числѣ математическое опредѣленіе скорости звука. Когда воздухъ сжимается, онъ нагрѣвается (II, § 172), а при расширеніи онъ охлаждается. Лапласъ указываетъ, что вслѣдствіе этого сгущенная часть воздушной волны теплѣе, а разрѣженная холоднѣе, чѣмъ воздухъ, находящійся въ покоѣ. Отъ этого средняя температура воздуха не повышается, но онъ пріобрѣтаетъ большую упругость. Нагрѣваніе сгущенной части волны повышаетъ въ ней давленіе, а охлажденіе разрѣженной части волны понижаетъ давленіе по сравненію съ нормальнымъ. Распространеніе давленія вслѣдствіе этого ускоряется. Упругость воздуха возрастаетъ, но средняя плотность его остается прежней. Когда Лапласъ при вычисленіи принялъ во вниманіе это обстоятельство, онъ нашелъ для скорости звука величину, которая вполнѣ совпадала съ показаніями опыта.

При 0^0 эта скорость равна 1059 футамъ и она увеличивается приблизительно на 2 фута (0·6 *м*) при повышеніи температуры на 1 градусъ. То обстоятельство, что прежнія измѣренія скорости звука плохо согласовались между собой, объясняется отчасти тѣмъ, что при нихъ не было принято во вниманіе вліяніе температуры.

346. Формула Ньютона имѣетъ то большое преимущество, что благодаря ей можно опредѣлить скорость звука въ любомъ тѣлѣ, если только извѣстны его сжимаемость и удѣльный вѣсъ, если, слѣдовательно, извѣстно, насколько сжимается самъ по себѣ столбъ ~~воздуха~~ изъ этого вещества въ 1 *м* высотой.

Такъ какъ всѣ газообразныя тѣла сжимаются одинаково (законъ Бойля, § 259), то сжатіе, испытываемое столбомъ газа вслѣдствіе собственнаго вѣса, должно быть пропорціонально его удѣльному вѣсу. Если этотъ удѣльный вѣсъ невеликъ, то невелико и сжатіе, а скорость звука, слѣдовательно, велика. Водородъ приблизительно въ 15 разъ легче воздуха. Вслѣдствіе этого въ формулѣ скорости звука знаменатель въ 15 разъ меньше и подкоренное количество въ 15 разъ больше, чѣмъ для воздуха. Корень, а слѣдовательно, и скорость звука въ водородѣ, такимъ образомъ, приблизительно въ 4 раза больше, чѣмъ въ воздухѣ. Точнѣе, она равна 4044 фут. при 0^0 (1266 *м*). Въ угольной кислотѣ, которая тяжелѣе воздуха, скорость звука равна 833 футамъ (261 *м*).

347. Сжимаемость многихъ жидкостей и твердыхъ тѣлъ также была измѣрена, что сдѣлало возможнымъ опредѣленіе скорости звука въ нихъ. Результаты этихъ вычисленій были подтверждены наблюденіемъ для различныхъ веществъ, которыя допускаютъ прямое измѣреніе скорости звука.

Тщательное измѣреніе скорости звука въ водѣ было сдѣлано въ 1827 г. Колладономъ и Штурмомъ на Женевскомъ озерѣ. Каждый изъ этихъ двухъ наблюдателей при производствѣ опыта находился въ лодкѣ. Съ одной лодки спускался въ воду колоколъ, по которому можно было ударять молоткомъ. Ломанный рычагъ, образующій рукоятку молотка, при своемъ движеніи опускалъ горящій фитиль въ небольшую кучку пороха. Такимъ образомъ посылался одновременно свѣтовой сигналъ въ воздухѣ и звуковой сигналъ въ водѣ (рис. 323 и 324). Лодки находились на разстояніи нѣсколькихъ миль другъ отъ друга, и наблюдатель во второй лодкѣ отмѣчалъ при помощи погруженной въ воду слуховой трубы и секундныхъ часовъ промежутокъ времени между воспріятіемъ луча свѣта и воспріятіемъ звука. Такъ какъ время, необходимое свѣту для прохожденія столь короткаго разстоянія, неизмѣримо мало, то наблюденный промежутокъ времени есть именно тотъ, въ теченіе

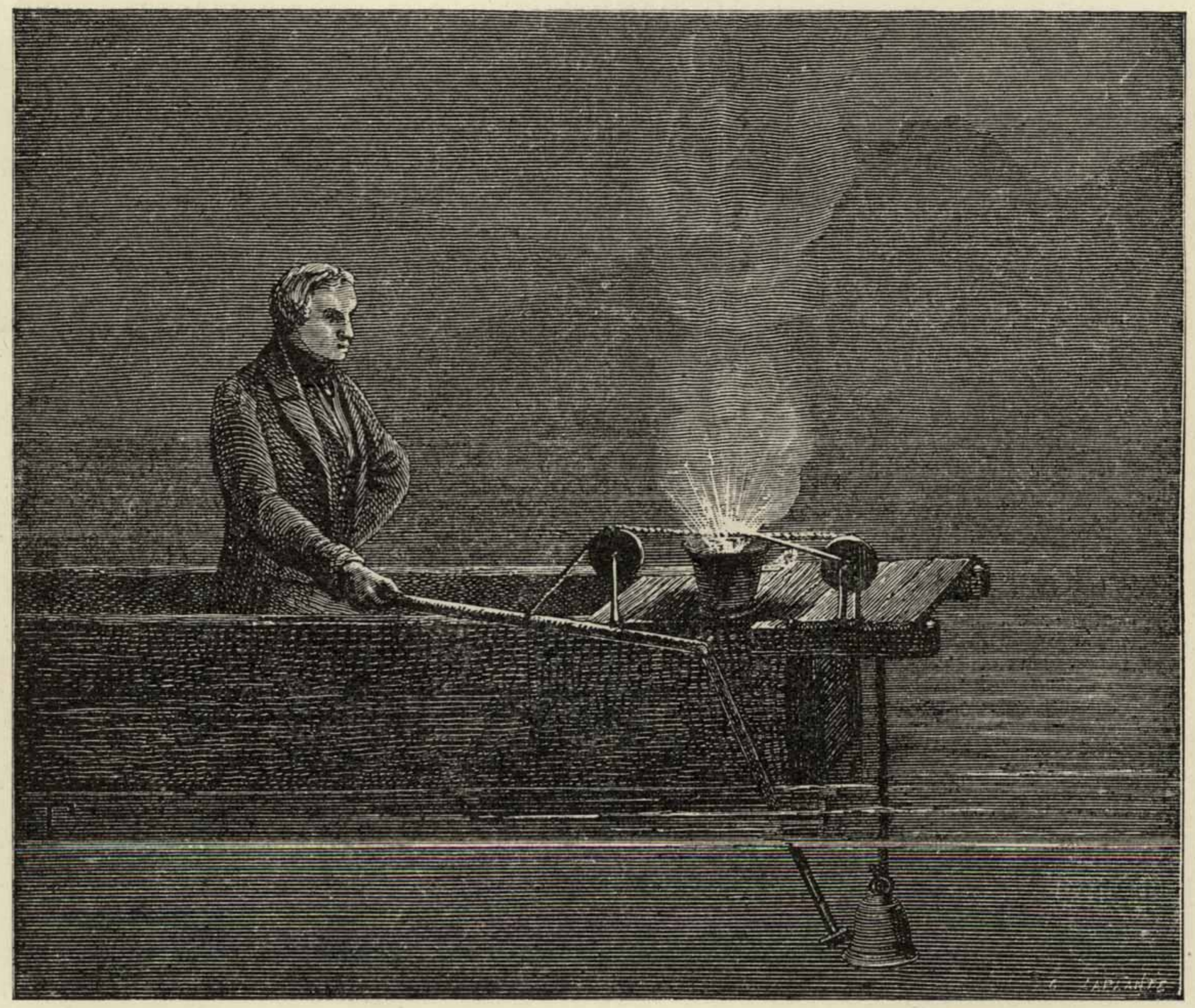
http://mathesis.ru

котораго звукъ пробѣгаетъ это разстояніе. Скорость звука въ водѣ, полученная изъ этого опыта, равна 4572 ф. (1435 *м*). Эта величина очень мало отличается отъ числа (1453 *м*), полученнаго путемъ вычисленія изъ сжимаемости воды ($e = 0{\cdot}000\,004\,65$).

Въ морской водѣ скорость звука нѣсколько больше, приблизительно 4700 ф. (1475 *м*) и нѣсколько отличается отъ этого числа въ зависимости отъ содержанія соли и отъ температуры.

На берегу моря можно иногда слышать выстрѣлъ, произведенный въ отдаленномъ мѣстѣ или на кораблѣ, дважды. Первый звукъ распространился по водѣ, а второй по воздуху.

Рис. 323



Измѣреніе скорости звука въ водѣ, произве-

348. Французскій физикъ Жанъ Батистъ Біо (1774—1862) услышалъ подобный же двойной звукъ у конца желѣзной трубы длиной въ 951 *м*., когда у другого конца производился ударъ молоткомъ. Звукъ, доходящій первымъ, распространяется, очевидно, по желѣзу, а второй по воздуху въ трубѣ. Біо опредѣлилъ, насколько возможно точно, промежутокъ времени между первымъ и вторымъ звуками и вычислилъ скорость звука въ желѣзѣ. Онъ нашелъ, что она равна 3460 *м*, т. е. въ 10 разъ больше скорости звука въ воздухѣ. Позднѣйшія измѣренія по телеграфной проволокѣ длиною свыше $^1/_2$ мили дали приблизительно такое же, но нѣсколько большее число.

Такъ какъ и удѣльный вѣсъ и сжимаемость тѣлъ зависятъ отъ способа ихъ обработки (вытягиваніе, сплющиваніе, литье, накаливаніе, закалка), то скорость звука въ тѣлахъ зависитъ и отъ этого. Средняя скорость звука въ оловѣ составляетъ

http://mathesis.ru

2500 *м*, въ серебрѣ 2760 *м*, въ мѣди 3760 *м*, въ стали 5000 *м*, въ сосновомъ деревѣ 5800 *м*. Сосновое бревно въ 20 *м*. длиной пробѣгается звукомъ приблизительно въ $^1/_{300}$ секунды.

349. Если произвести колебаніе въ какой-нибудь точкѣ спокойной поверхности воды, напримѣръ, бросивъ въ воду камень, то это сотрясеніе передается по всѣмъ направленіямъ съ одинаковой скоростью; возникаютъ извѣстныя круговыя волны, выходящія изъ даннаго мѣста и становящіяся все слабѣе по мѣрѣ удаленія отъ него. Такимъ же образомъ нарушеніе покоя въ какомъ-нибудь мѣстѣ въ воздухѣ, путемъ произведенія взрыва, распространится равномѣрно по всѣмъ направленіямъ. Изъ этого

Рис. 324



денное Колладономъ и Штурмомъ.

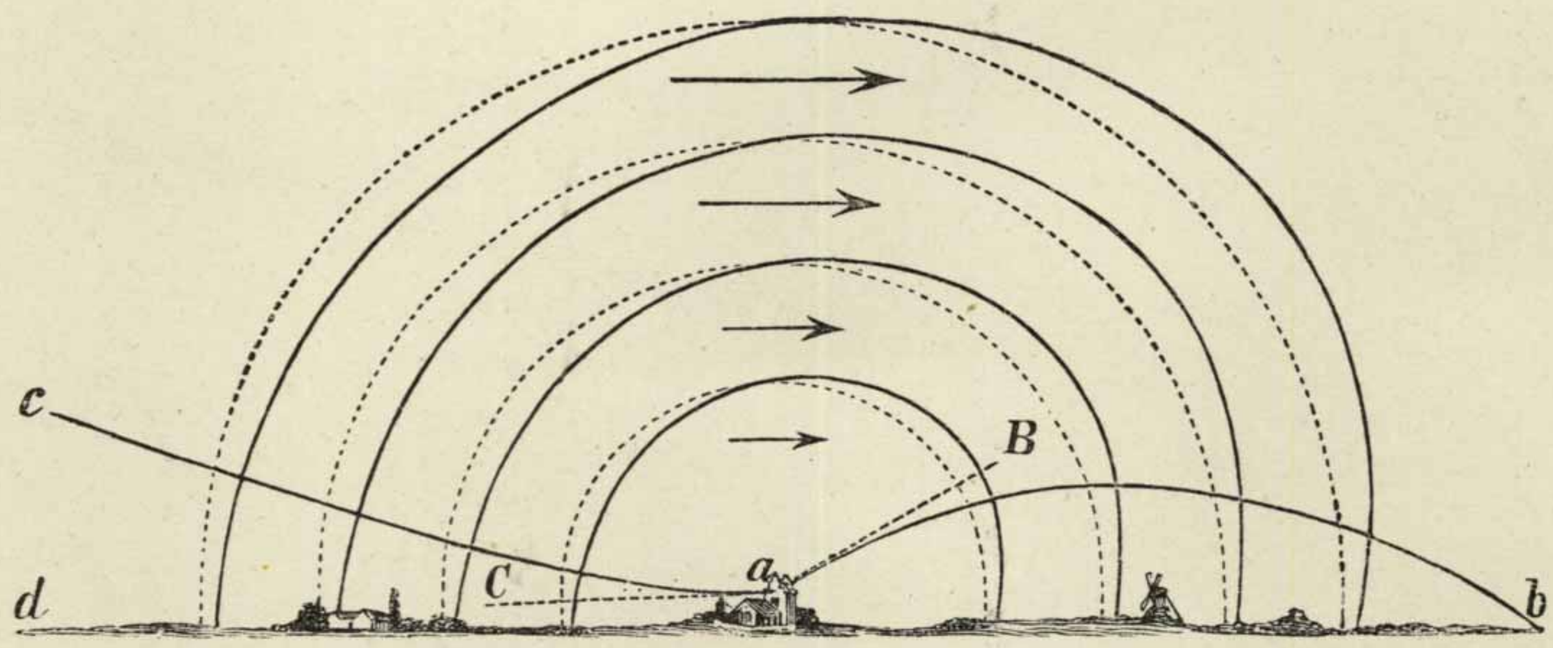
мѣста будутъ выходить сферическія волны, которыя по мѣрѣ удаленія отъ исходной точки ослабѣваютъ. Направленіе распространенія повсюду перпендикулярно къ поверхности волны. Легко видѣть, что это такъ и должно быть, такъ какъ различныя части поверхности сферической волны имѣютъ одну и ту же плотность и нѣтъ, слѣдовательно, основаній къ тому, чтобы движеніе одной такой части передавалось другой части той же самой сферы. Если, однако, благодаря какому-нибудь обстоятельству, форма поверхности волны измѣняется, то измѣняется также направленіе распространенія. Это можетъ производить иногда совершенно неожиданныя явленія. Такъ иногда звуки слышались на удивительно большое разстояніе, съ другой же стороны случалось, что выстрѣлы изъ орудій не были слышны на сравнительно небольшомъ разстояніи.

Извѣстно, что въ направленіи, по которому дуетъ вѣтеръ, звуки слышатся

http://mathesis.ru

лучше, чѣмъ въ противоположномъ. При этомъ обыкновенно удовлетворяются объясненіемъ, что въ направленіи вѣтра къ скорости звука прибавляется скорость вѣтра. Что это объясненіе недостаточно, легко видѣть, если припомнить, что движеніе воздуха со скоростью 10 *м* въ секунду ощущается, какъ довольно сильный вѣтеръ, но распространяется ли звукъ вмѣсто 330 *м* со скоростью въ 340 или 320 *м*, смотря по тому, движется ли онъ по вѣтру или противъ него,—это не можетъ, очевидно, имѣть значительнаго вліянія на силу звука. Англійскій физикъ Джонъ Тиндалль (род. въ 1820 г., ум. въ 1893 г.) объяснилъ это явленіе слѣдующимъ образомъ. Скорость вѣтра на высотѣ почти всегда больше, чѣмъ непосредственно у поверхности земли (рис. 325). Вслѣдствіе этого поверхности волнъ, которыя въ спокойномъ воздухѣ должны быть

Рис. 325



Распространеніе звука по вѣтру и противъ вѣтра.

сферическими (пунктирныя линіи), измѣняютъ свои формы, распространяясь вверху въ направленіи вѣтра (направленіе стрѣлки) быстрѣе, чѣмъ у поверхности земли. Поэтому онѣ принимаютъ формы, обозначенныя сплошными линіями. А такъ какъ распространеніе звука въ каждой точкѣ происходитъ перпендикулярно къ поверхности волны, то звукъ, исходящій изъ точки *a* въ направленіи *a C*, не достигнетъ наблюдателя, находящагося въ точкѣ *d*, но пройдетъ надъ нимъ въ направленіи *a c* и наблюдатель въ точкѣ *d* не услышитъ звука. Напротивъ того, звукъ, выходящій по направленію *a B*, распространяется по линіи *a b*, которая повсюду перпендикулярна къ поверхности волны. Звукъ, слѣдовательно, будетъ услышанъ наблюдателемъ въ точкѣ *b*, и всѣ звуки, исходящіе изъ *a* по направленіямъ ниже *a B*, будутъ отклонены подобнымъ же образомъ и достигнутъ земной поверхности въ различныхъ точкахъ между *a* и *b*. Эта часть земной поверхности получитъ, слѣдовательно, больше звуковъ, чѣмъ собственно слѣдовало бы, а именно, всѣ звуки, которые при безвѣтреной погодѣ распространились бы по всему пространству подъ *a B*.

350. Если волны какого либо рода,—звуковыя ли волны или водяныя—, достигаютъ границы какой-нибудь среды, болѣе плотной, чѣмъ та, въ которой онѣ распространялись до этого, то онѣ отражаются, такъ какъ доходящее до этой границы сгущеніе должно сгладиться, а это можетъ произойти только въ томъ случаѣ, если колеблющіяся частицы воздуха или воды отразятся отъ границы среды. Каждая часть волны, конечно, отражается, достигнувъ стѣны, и такъ какъ направленіе распространенія звука перпендикулярно къ поверхности волны, то отсюда можно найти направленіе, въ которомъ волна отразится отъ стѣны.

http://mathesis.ru

Пусть M (рис. 326) будетъ точка, изъ которой исходятъ волны a, b, c, d, а RS отвѣсная стѣна. Волна d, которая должна была бы распространиться по пунктирной линіи d, отражается отъ стѣны и идетъ по сплошной линіи d. Подобнымъ же образомъ волна e возвращается по e'. Отраженныя отъ стѣны волны симметричны съ тѣми волнами, которыя образовались бы при дальнѣйшемъ распространеніи волнообразнаго движенія. Онѣ состоятъ, слѣдовательно, изъ круговъ съ центромъ m, который симметриченъ M, т. е. находится на продолженіи перпендикуляра Mo, на такомъ же разстояніи позади стѣны, на какомъ M находится впереди ея. Отраженныя волны возвращаются отъ стѣны такъ, какъ еслибы онѣ исходили изъ m. Линія mpn образуетъ, слѣдовательно, съ RS такой же уголъ, какъ и Mp. Такимъ образомъ, такъ же, какъ и при отраженіи свѣта отъ зеркалъ (§ 85), уголъ паденія равенъ углу отраженія.

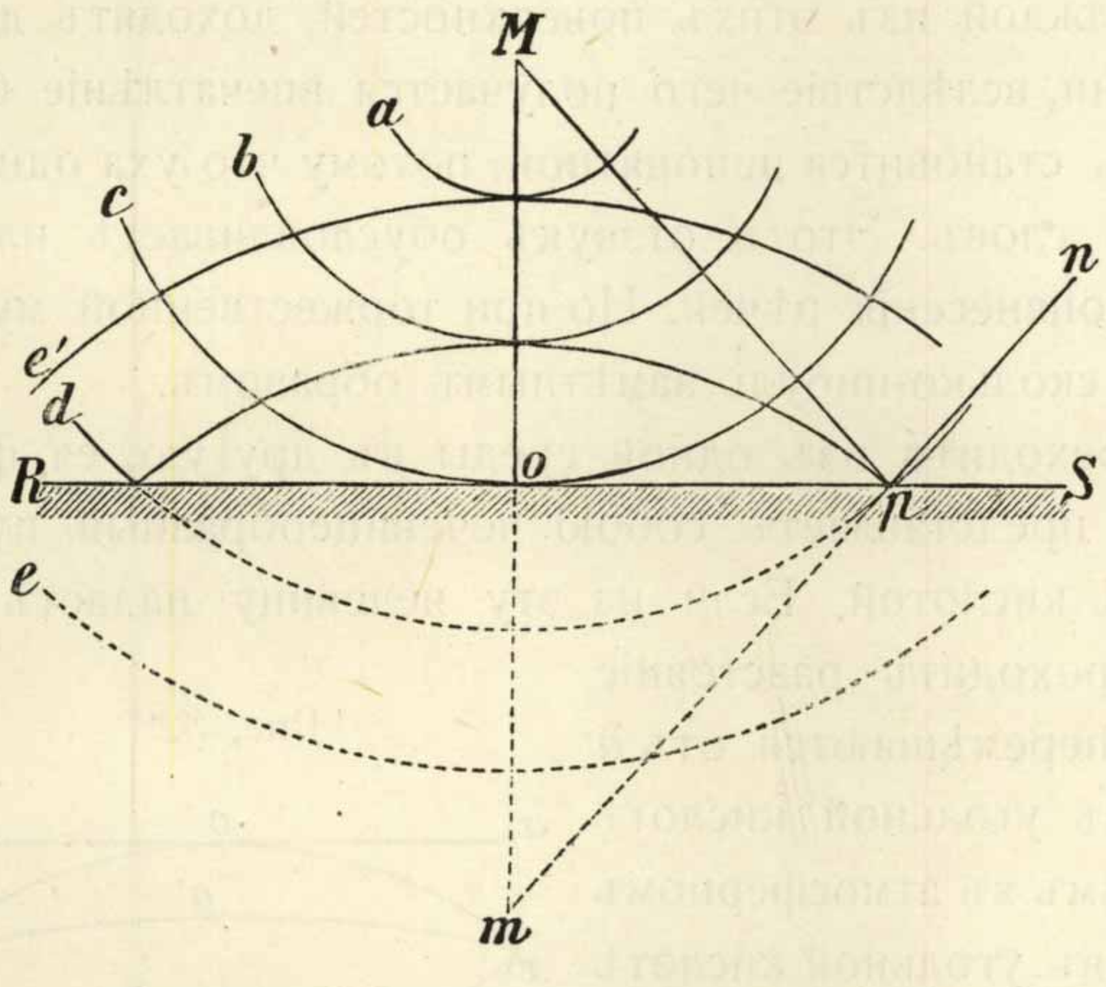


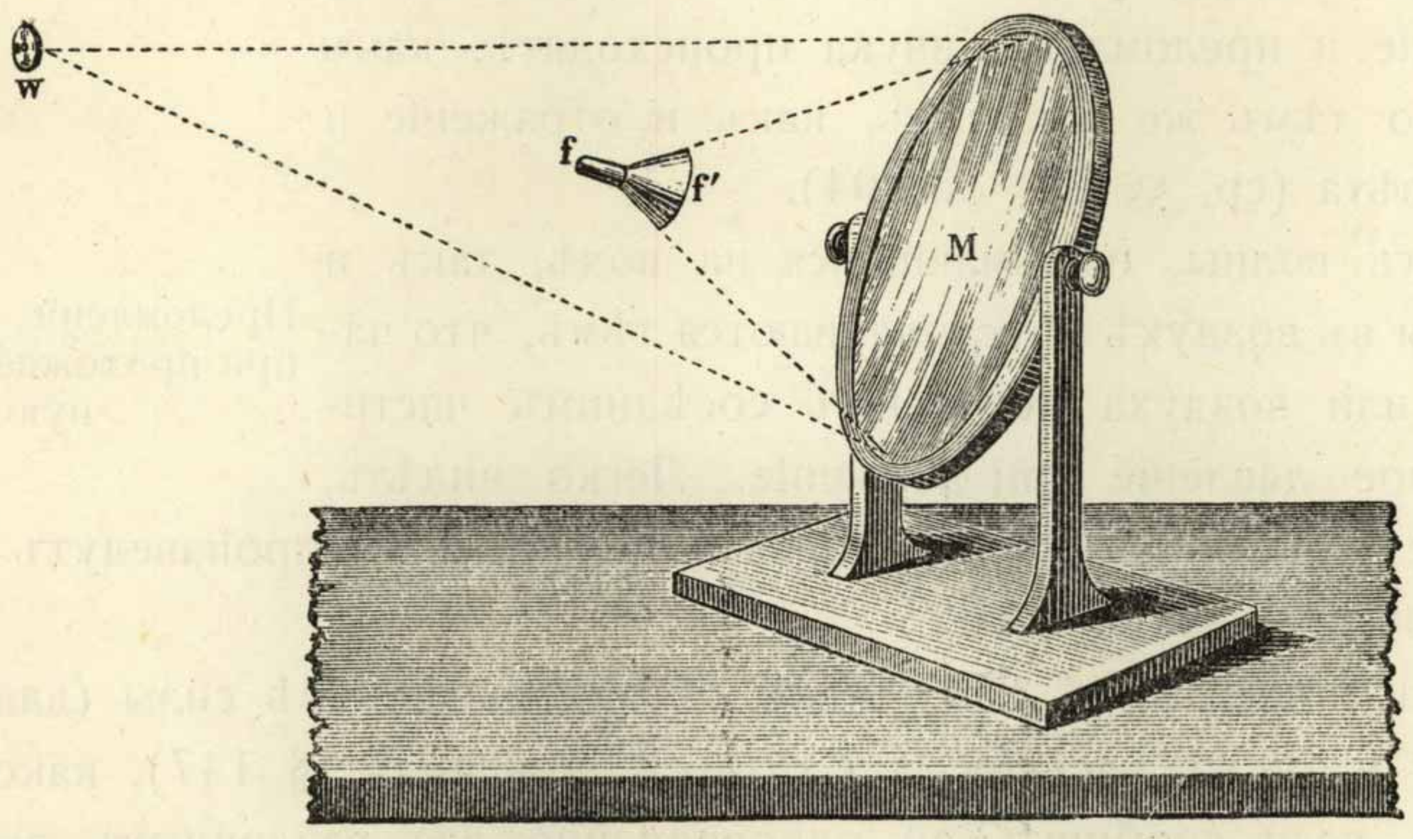
Рис. 326

Отраженіе звука отъ плоской стѣны.

Вслѣдствіе этого звукъ отражается отъ стѣнъ различной формы такимъ же образомъ, какъ свѣтъ отъ зеркалъ, устроенныхъ соотвѣтственнымъ образомъ. Вогнутое зеркало M (рис. 327) можетъ, напримѣръ, отразить въ слуховую воронку f тиканіе часовъ, находящихся въ W, какъ это видно на рисункѣ.

351. Подъ открытымъ небомъ звуковыя волны часто отражаются стѣнами, скалами, опушками лѣсовъ. Смотря по тому, какъ построена стѣна, слышится болѣе или

Рис. 327



Отраженіе звука отъ вогнутаго зеркала.

менѣе ясное эхо. Какой промежутокъ времени проходитъ отъ возникновенія звука до воспріятія эхо, зависитъ, конечно, отъ разстоянія отражающей стѣны. Если это разстояніе невелико, то чтобы эхо было слышно отдѣльно и чтобы послѣдняя

http://mathesis.ru

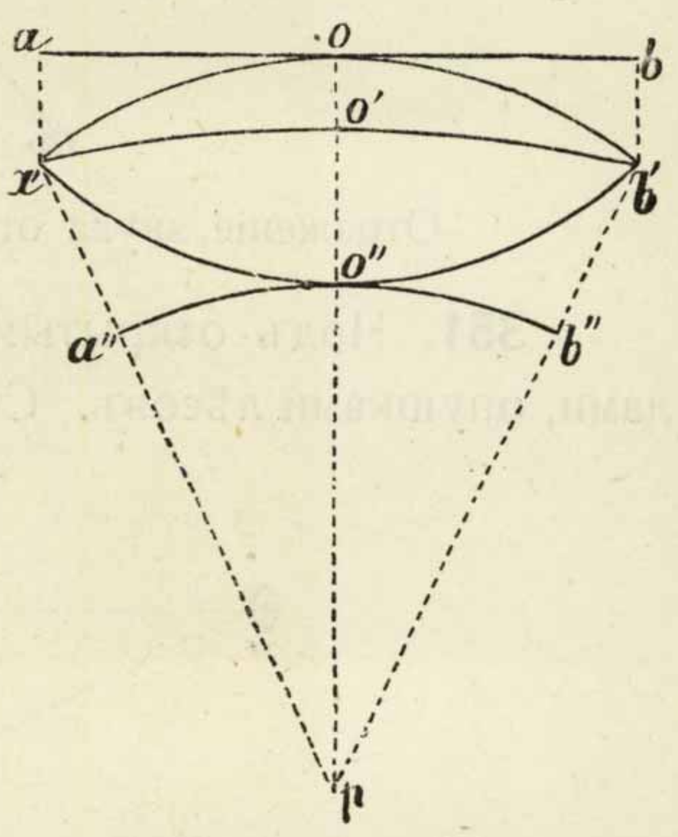
часть звука не сливалась съ первой частью эхо, звукъ долженъ быть короткимъ. Даже облака могутъ вызывать эхо, что несомнѣнно способствуетъ образованію „раскатовъ“ грома.

Въ нѣкоторыхъ помѣщеніяхъ съ изогнутыми стѣнами шумъ, производимый въ одномъ мѣстѣ помѣщенія, можно ясно слышать въ другомъ опредѣленномъ мѣстѣ его. Это явленіе объясняется также отраженіемъ звука. Стѣны дѣйствуютъ въ такомъ случаѣ, какъ вогнутое зеркало дѣйствуетъ на лучи свѣта, а именно такъ, что звуковыя волны концентрируются въ одномъ мѣстѣ и здѣсь взаимно усиливаются.

Въ большихъ помѣщеніяхъ, церквахъ или залахъ, стѣны, потолки, своды и колонны представляютъ гладкія поверхности, расположенныя въ самыхъ различныхъ направленіяхъ; звуки, отражаясь отъ каждой изъ этихъ поверхностей, доходятъ до уха черезъ различные промежутки времени, вслѣдствіе чего получается впечатлѣніе болѣе продолжительнаго гула. Связная рѣчь становится непонятной, потому что уха одновременно достигаютъ части различныхъ словъ. Этотъ отзвукъ обусловливаетъ плохую „акустику“ такихъ помѣщеній для произнесенія рѣчей. Но при торжественной музыкѣ это совпаденіе звуковъ не мѣшаетъ сколько-нибудь замѣтнымъ образомъ.

352. Когда звуковая волна переходитъ изъ одной среды въ другую, ея форма мѣняется. Пусть $a'\,o\,b'\,o''$ (рис. 328) представляетъ собою чечевицеобразный пузырь изъ коллодія, наполненный угольной кислотой. Если на эту чечевицу падаетъ звуковая волна $a\,b$, то середина ея проходитъ разстояніе отъ o до o' въ то время, какъ края перемѣщаются отъ a до a' и отъ b до b', такъ какъ въ угольной кислотѣ волна распространяется медленнѣе, чѣмъ въ атмосферномъ воздухѣ (§ 346). Въ то время какъ въ угольной кислотѣ волна пройдетъ разстояніе отъ o' до o'', въ воздухѣ она распространится отъ a' до a'' и отъ b' до b''. Прямолинейная волна $a\,b$, такимъ образомъ, превращается въ криволинейную $a''\,o''\,b''$, которая, идя дальше, сосредоточивается въ точкѣ p, гдѣ поэтому дѣйствіе волны сильнѣе всего.

Рис. 328



Преломленіе звуковыхъ волнъ при прохожденіи черезъ угольную кислоту.

Отраженіе и преломленіе звука происходятъ, какъ мы видимъ, по тѣмъ же законамъ, какъ и отраженіе и преломленіе свѣта (ср. §§ 75, 85, 94).

353. Какъ волны, подымающіяся на водѣ, такъ и волны сгущенія въ воздухѣ обусловливаются тѣмъ, что частички воды или воздуха передаютъ сосѣднимъ частицамъ нѣкоторое давленіе или движеніе. Легко видѣть, что произойдетъ, если нѣсколько волнъ одновременно произведутъ давленіе на частицу или сообщатъ ей движеніе.

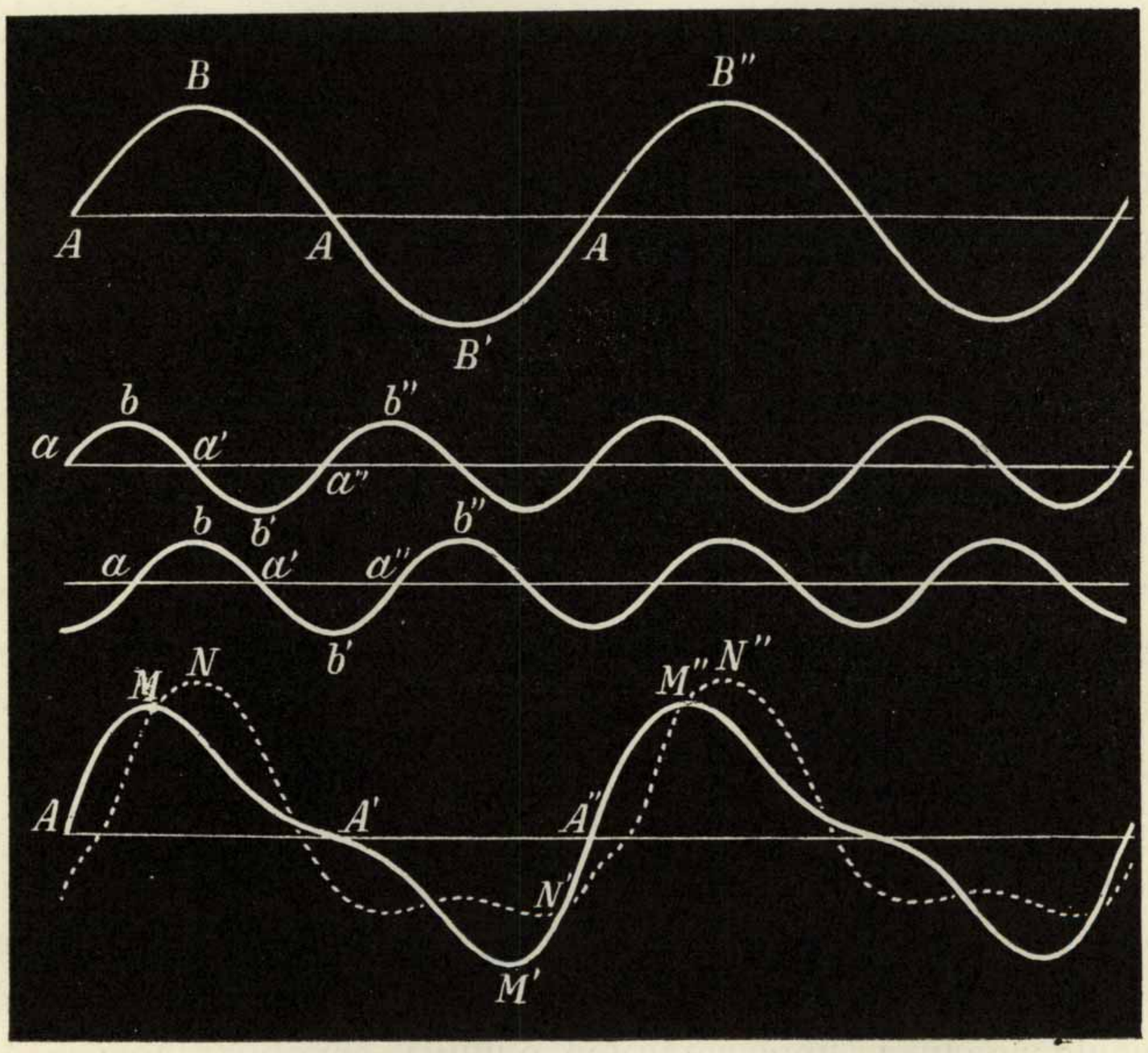
Стевинъ показалъ (§ 175), какъ складываются двѣ силы (давленія), дѣйствующія на одну и ту же частицу, а Галилей выяснилъ (§ 147), каково будетъ движеніе частицы, если сообщить ей одновременно два различныхъ движенія. Отсюда легко сдѣлать тотъ выводъ, что частица, подвергающаяся одновременно дѣйствію двухъ или нѣсколькихъ системъ волнъ, испытываетъ въ каждый данный моментъ то давленіе и совершаетъ то движеніе, которыя являются результирующими давленій и движеній отдѣльныхъ системъ.

http://mathesis.ru

Подобное совокупное дѣйствіе различныхъ системъ волнъ можно наблюдать на берегу, когда вѣтеръ производитъ на поверхности воды небольшія волны и пароходъ посылаетъ издали нѣсколько волнъ бóльшей величины. Можно наблюдать, какъ мелкія волны подымаются на гребни большихъ волнъ и опускаются въ ихъ долины. Точно такимъ же образомъ ухо, воспринимая одновременно нѣсколько тоновъ, идущихъ съ различныхъ сторонъ и образующихъ въ дѣйствительности нѣкоторый комплексъ звуковъ (сложный звукъ), въ состояніи узнать любой изъ нихъ съ его особенностями. Это показываетъ, что въ такомъ комплексѣ каждое изъ складывающихся дѣйствій существуетъ отдѣльно и что ухо въ состояніи выдѣлить его изъ комплекса.

Такая сложная волна можетъ имѣть очень неправильную форму. Даже рядъ правильныхъ волнъ $A\,B\,B'\,B''$ (рис. 329) и рядъ волнъ $a\,b\,b'\,b''$ той же формы, но

Рис. 329



Сложеніе волнъ.

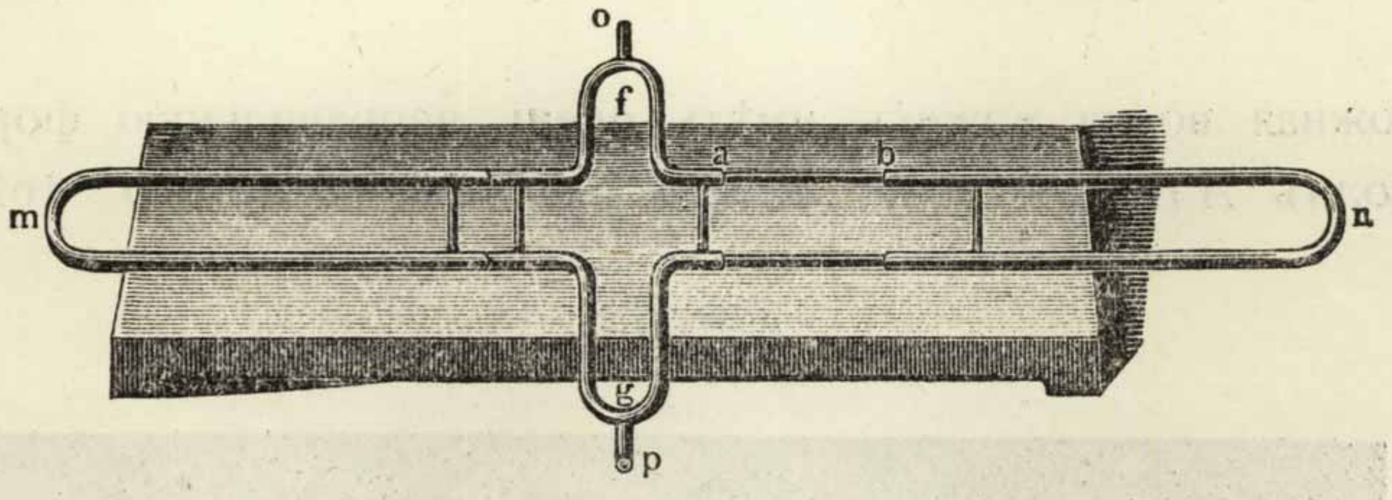
вдвое меньшей длины, образуютъ волну $A\,M\,M'\,M''$ уже довольно сложной формы. Если второй рядъ волнъ нѣсколько сдвинутъ, то форма результирующей волны $N\,N'\,N''$ будетъ еще сложнѣе. Но она все же еще относительно проста по сравненію съ волнами, возникающими отъ сложенія нѣсколькихъ системъ волнъ, форма и отношеніе длинъ которыхъ болѣе сложны.

354. Однимъ изъ слѣдствій сложенія нѣсколькихъ волнъ является интерференція. Она состоитъ въ томъ, что двѣ системы волнъ одинаковой длины въ нѣкоторыхъ мѣстахъ слагаются такъ, что ихъ дѣйствіе усиливается, между тѣмъ какъ въ другихъ мѣстахъ онѣ взаимно уничтожаются, такъ какъ гребень одной волны совпадаетъ съ долиною другой. Если передъ трубкой *o* представленнаго на рис. 330

http://mathesis.ru

прибора произвести звукъ, то волны этого звука пройдутъ въ обѣ вѣтви трубки и одновременно выйдутъ изъ отверстія *p*. Если оба эти пути будутъ одинаковой длины, то волны достигаютъ *p* въ одинаковомъ состояніи (фазѣ), вслѣдствіе чего въ этомъ мѣстѣ будетъ слышенъ сильный звукъ. Если теперь удлинить одну вѣтвь трубки, вытянувъ подвижную часть, то звукъ въ *p* сдѣлается слабѣе и даже исчезнетъ совершенно, когда пути, пробѣгаемые звуковыми волнами въ двухъ вѣтвяхъ трубки, будутъ отличаться другъ отъ друга на длину полуволны. Если еще больше удли-

Рис. 330



Интерференція звуковыхъ волнъ.

нить трубку, то тонъ снова усилится, и когда одна вѣтвь трубки станетъ длиннѣе другой на цѣлую волну, то тонъ снова получитъ свою первоначальную силу.

Другой примѣръ интерференціи можно наблюдать безъ всякихъ вспомогательныхъ средствъ на камертонѣ[1]). Если ударить камертонъ, то онъ начинаетъ колебаться такимъ образомъ, что его ножки то сближаются, то удаляются другъ отъ друга. При сближеніи отъ ножекъ исходятъ двѣ волны разрѣженія, а отъ промежутка между ними двѣ волны сгущенія. При удаленіи ножекъ другъ отъ друга будетъ обратное явленіе. Въ томъ мѣстѣ, гдѣ разрѣженія сталкиваются со сгущеніями, сгущенія и разрѣженія взаимно уничтожаются. Въ этомъ можно убѣдиться, держа камертонъ передъ ухомъ и вращая между пальцами его ручку. Звукъ исчезаетъ всякій разъ, когда камертонъ направленъ къ уху такимъ образомъ, что сгущенія одной системы совпадаютъ въ ухѣ съ разрѣженіями другой системы.

Обыкновенно говорятъ объ интерференціи звука только съ самимъ собой или со своимъ эхо или съ другимъ звукомъ точно такого же числа колебаній. Можно, однако, считать за явленіе интерференціи и тѣ біенія, которыя были описаны въ § 338, гдѣ сгущеніе воздуха, производимое однимъ звукомъ, совпадаетъ въ извѣстное время съ разрѣженіемъ другого, вслѣдствіе чего они взаимно уничтожаются, а спустя короткій промежутокъ времени сгущеніе одного звука слагается уже со сгущеніемъ другого и они усиливаютъ другъ друга.

355. Если вблизи струны, настроенной на извѣстный тонъ, сильно зазвучитъ этотъ тонъ, то струна также начнетъ звучать, что легко замѣтить, прекративъ первый тонъ. Это явленіе было извѣстно уже давно, когда въ серединѣ XVIII вѣка его изслѣдовали два ученика Валлиса (§ 178), Вильямъ Нобль и Томасъ Пиготъ. Валлисъ сдѣлалъ сообщеніе объ этомъ въ изданіяхъ Королевскаго Общества.

Такіе тоны назывались симпатическими тонами. Это названіе напоминаетъ о

---

[1]) Камертонъ былъ изобрѣтенъ англійскимъ военнымъ горнистомъ Джономъ Шоромъ около 1711 года.

http://mathesis.ru

наблюденіяхъ, сдѣланныхъ надъ часами. Гюйгенсъ замѣтилъ, что двое часовъ, которые въ теченіе сутокъ расходятся между собою на пять секундъ, начинаютъ идти одинаково, если помѣстить ихъ въ одной комнатѣ, хотя бы и на разстояніи 15 футовъ другъ отъ друга. Гюйгенсъ объяснялъ эту „симпатію“ движеніемъ воздуха; но въ 1739 году англичанинъ Элликотъ замѣтилъ нѣчто подобное на двухъ часахъ, помѣщенныхъ на разстояніи только двухъ футовъ другъ отъ друга, но въ двухъ плотно закрытыхъ футлярахъ. Эти часы расходились между собою на 90 секундъ въ сутки, но симпатія въ этомъ случаѣ была такъ велика, что каждые изъ нихъ, будучи остановлены, черезъ $^1/_4$ или $^1/_2$ часа сами приходили въ движеніе. Элликотъ показалъ, что это происходитъ вслѣдствіе небольшихъ, самихъ по себѣ незамѣтныхъ движеній, которыя передаются отъ идущихъ часовъ къ остановившимся. И когда онъ соединялъ футляры часовъ деревянной палкой, остановившіеся часы приходили въ движеніе гораздо быстрѣе.

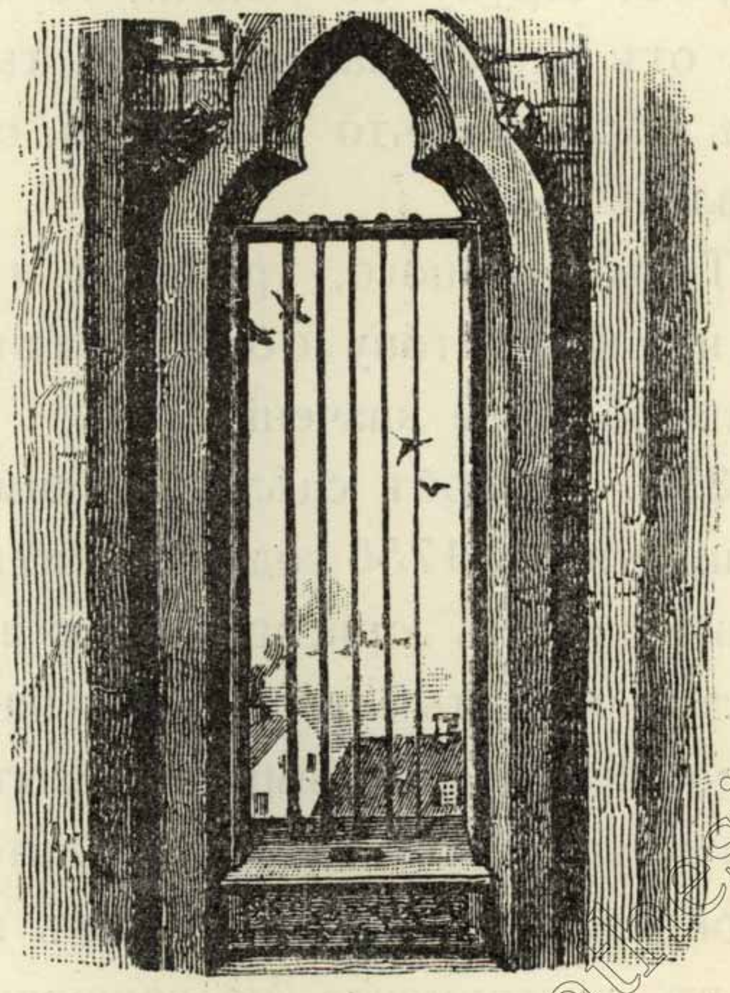
Это явленіе показываетъ, что колеблющемуся тѣлу, напримѣръ, маятнику, можно сообщить значительныя колебанія при помощи ряда слабыхъ толчковъ, правильно слѣдующихъ одинъ за другимъ. Движеніе маятника не только сохраняется, но и усиливается послѣдующими толчками.

То же справедливо и для струны. Дѣйствіе каждой изъ волнъ, достигающихъ ея, само по себѣ незначительно, но эти дѣйствія суммируются, и такъ какъ до струны доходятъ за короткій промежутокъ времени сотни волнъ, то онѣ сообщаютъ ей достаточно сильныя колебанія, при условіи, конечно, что онѣ достигаютъ ея въ надлежащіе моменты, т. е. при условіи, что звучащій тонъ въ точности совпадаетъ съ тономъ струны.

356. Опытъ Нобля и Пигота привелъ къ объясненію другого явленія, также небезызвѣстнаго раньше.

Эолова арфа (рис. 331) была извѣстна, вѣроятно, еще въ древности; по другому мнѣнію, ее открылъ нѣмецкій математикъ Аѳанасій Кирхеръ (1601—1680); изобрѣтателемъ ея называютъ также шотландскаго врача Освальда. Быть можетъ, каждый изъ нихъ изобрѣлъ ее самостоятельно или придалъ ей особенно цѣлесообразную форму. Эолова арфа состоитъ изъ рамки, на которой натянуто нѣсколько струнъ; ее помѣщаютъ въ такомъ мѣстѣ, гдѣ струны могутъ быть приводимы въ движеніе вѣтромъ. Если даже ограничиться одной струной, то можно получить цѣлый рядъ различныхъ тоновъ.— Нѣчто подобное, но съ гораздо меньшимъ разнообразіемъ тоновъ, можно наблюдать, когда сильный вѣтеръ приводитъ въ движеніе телеграфные провода.

Рис. 331



Эолова арфа.

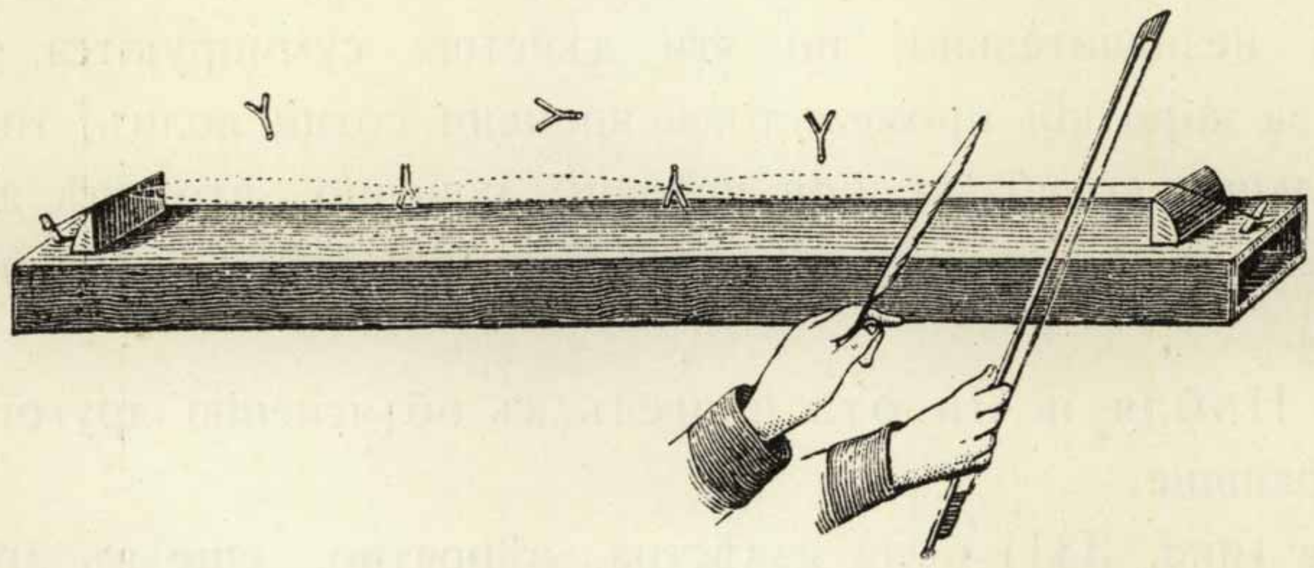
Нобль и Пиготъ нашли, что струна можетъ быть приведена въ колебаніе не только тономъ одинаковой высоты съ ея тономъ, но и нѣкоторыми другими, а именно тѣми тонами, числа колебаній которыхъ

http://mathesis.ru

въ два, три, четыре и т. д. разъ больше. Струна издаетъ въ этомъ случаѣ не свой низкій тонъ, а болѣе высокій, именно тотъ, который приводитъ ее въ колебаніе. Накладывая на струну бумажки, можно доказать, что струна колеблется при этомъ не всей своей длиной: середина ея остается въ покоѣ, если число колебаній тона, вызывающаго ея звучаніе, вдвое больше числа колебаній струны; если число колебаній этого тона втрое больше, то въ покоѣ остаются двѣ точки струны и т. д. На тѣхъ мѣстахъ струны, которыя остаются въ покоѣ, — въ такъ называемыхъ узлахъ —, бумажки неподвижны, со всѣхъ же другихъ мѣстъ онѣ соскакиваютъ.

357. Совёръ, не знавшій объ этихъ опытахъ, нѣсколькими годами позже дѣлалъ вполнѣ аналогичные имъ. Вмѣстѣ съ тѣмъ онъ нашелъ новый способъ заставить колебаться струну, раздѣленную на двѣ, три, четыре и т. д. части. Способъ этотъ заключается въ томъ, что струны касаются пальцемъ въ точкѣ, отдѣляющей половину, треть, четверть и т. д. ея, и посреди отдѣленной части проводятъ смычкомъ. Этотъ опытъ изображенъ на рис. 332. Здѣсь колеблются четыре части струны, образуя три узла. Бумажки въ узловыхъ точкахъ остаются неподвижными, между тѣмъ какъ съ утолщенныхъ частей струны (пучностей) онѣ соскакиваютъ. Названія

Рис. 332



Колебаніе струны, имѣющей три узла.

„узлы“ и „пучности“ были введены Совёромъ. Если внимательно наблюдать колеблющуюся струну съ узлами, то можно легко отличить части, находящіяся въ движеніи, отъ частей, находящихся въ покоѣ, — пучности и узлы. Колебанія происходятъ такимъ образомъ, что двѣ части, отдѣленныя узломъ, движутся въ противоположныхъ направленіяхъ.

Тоны двойного, тройного и т. д. числа колебаній называются по отношенію къ основному тону обертонами. Для пониманія теоріи музыки и рѣчи обертоны имѣютъ большое значеніе.

358. Способъ сдѣлать видимыми колебанія пластинокъ былъ найденъ Хладни, родившимся въ 1756 году въ Виттенбергѣ и умершимъ въ Бреславлѣ въ 1827 году. Хладни изучалъ юриспруденцію и получилъ степень доктора правъ, но послѣ смерти отца сталъ изучать естественныя науки и особенно занимался акустикой. Онъ отдался всецѣло своимъ любимымъ занятіямъ, не занимая никакой должности. Хладни зарабатывалъ себѣ на жизнь литературной дѣятельностью, а также лекціями и демонстрированіемъ изобрѣтенныхъ имъ приборовъ, между которыми были два музыкальныхъ инструмента, не вошедшихъ, однако, въ общее употребленіе. Въ одномъ изъ нихъ, эвфонѣ, звуки получались отъ проведенія влажными пальцами по стеклянымъ палочкамъ, въ другомъ, цилиндрическомъ піанино (Klavierzilinder), посредствомъ

http://mathesis.ru

прижиманія деревянныхъ палочекъ къ вращающемуся стеклянному цилиндру. Хладни опубликовалъ также нѣсколько сочиненій о метеоритахъ, въ которыхъ онъ доказывалъ, что они появляются не изъ атмосферы, а изъ мірового пространства. Мнѣніе это въ то время было ново и многими оспаривалось, между тѣмъ какъ въ настоящее время оно общепринято.

Если упругую пластинку изъ стекла или изъ латуни, укрѣпленную въ одной точкѣ, придержать въ другомъ мѣстѣ пальцемъ и провести по краю ея смычкомъ, то пластинка начинаетъ колебаться, но такъ, что нѣкоторыя линіи на ней останутся въ покоѣ. Хладни сдѣлалъ видимыми эти узловыя линіи, посыпавъ пластинки сухимъ пескомъ. Во время колебанія пластинки песчинки сбрасываются съ колеблющихся частей и собираются на узловыхъ линіяхъ (рис. 334).

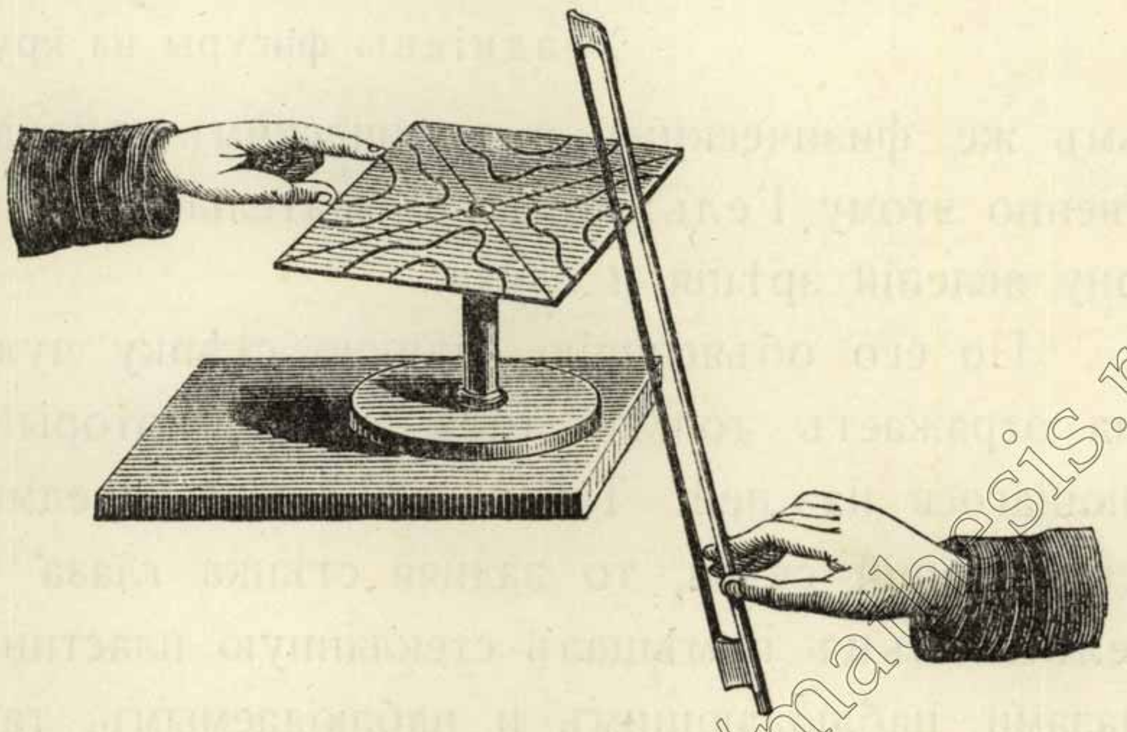
Рис. 333



На рис. 335 изображено нѣсколько такихъ фигуръ, получающихся на укрѣпленной посрединѣ квадратной пластинкѣ, если коснуться ея пальцемъ въ точкѣ *a* и провести смычкомъ въ мѣстѣ *b*. Можно получить множество фигуръ другой формы. Касаясь любого мѣста пластинки и проводя гдѣ-нибудь по краю смычкомъ, можно почти всегда получить особую фигуру, которая тѣмъ красивѣе, чѣмъ чище тонъ.

Чѣмъ выше тонъ, тѣмъ больше число отдѣльно колеблющихся частей пластинки и тѣмъ сложнѣе фигуры. На рис. 336 a изображены нѣкоторыя болѣе простыя, а на рис. 336 b болѣе сложныя Хладніевы фигуры, получающіяся на круглыхъ пластинкахъ. Чтобы получить фигуры, состоящія изъ кольцеобразныхъ линій, нужно укрѣпить пластинку не въ центрѣ, а въ одной изъ точекъ (*a*) имѣющаго получиться кольца и провести смычкомъ по краю пластинки или лучше по краю круглаго прорѣза въ серединѣ пластинки.

Рис. 334



Полученіе Хладніевыхъ фигуръ.

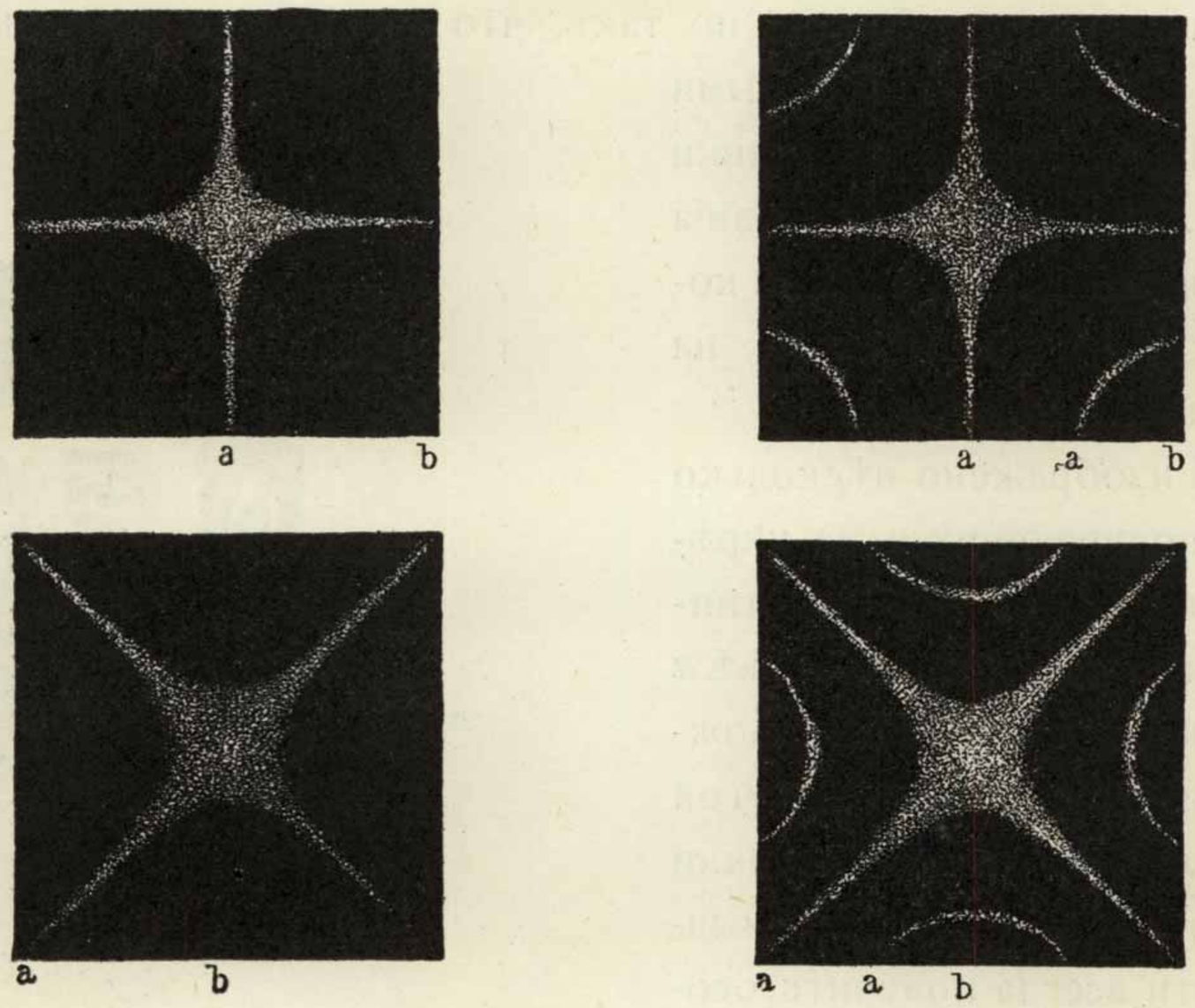
359. Было найдено также, что колеблющіяся струны и пластинки и вообще всѣ звучащія тѣла даютъ, кромѣ основного тона, обертоны и въ томъ случаѣ, если даже ихъ намѣренно и не вызывать прикосновеніемъ. Но въ большинствѣ случаевъ эти обертоны не очень сильны. Осо-

http://mathesis.ru

бенно много для изученія обертоновъ сдѣлалъ Германъ Людвигъ Фердинандъ фонъ-Гельмгольцъ (род. въ 1821 году въ Потсдамѣ, умеръ въ 1894 году въ Шарлоттенбургѣ).

Гельмгольцъ былъ сыномъ учителя гимназіи. Онъ посѣщалъ гимназію своего родного города, а затѣмъ изучалъ въ Берлинѣ медицину. Въ 1843 году онъ сдѣ-

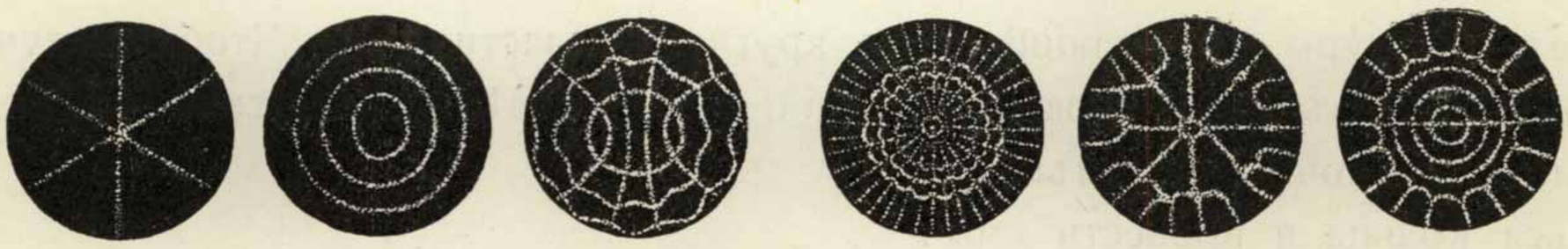
Рис. 335



Хладніевы фигуры на квадратной пластинкѣ.

лался военнымъ врачемъ въ Потсдамѣ, въ 1848 учителемъ анатоміи въ художественной школѣ въ Берлинѣ, а въ 1849 профессоромъ физіологіи въ Кёнигсбергѣ, гдѣ и началъ свой цѣнный рядъ физіологическихъ открытій. Какъ врачъ, Гельмгольцъ стоялъ на той точкѣ зрѣнія, что процессы въ человѣческомъ тѣлѣ происходятъ по

a Рис. 336 b



Хладніевы фигуры на круглыхъ пластинкахъ.

тѣмъ же физическимъ и химическимъ законамъ, какъ и явленія внѣ его. Соотвѣтственно этому Гельмгольцъ тщательнѣе, чѣмъ кто-либо, изучилъ физическую сторону явленій зрѣнія и слуха.

По его объясненію заднюю стѣнку чужого глаза нельзя видѣть потому, что она отражаетъ только тотъ свѣтъ, который исходитъ отъ предмета, отпечатлѣвающагося на ней. Такъ какъ этимъ предметомъ является глазъ наблюдателя, не испускающій свѣта, то задняя стѣнка глаза и кажется темной. Чтобы освѣтить ее, Гельмгольцъ помѣщалъ стеклянную пластинку въ косомъ положеніи между обоими глазами, наблюдающимъ и наблюдаемымъ, такъ что свѣтъ отъ поставленной сбоку лампы отражался въ наблюдаемый глазъ. Свѣтъ возвращался изъ глаза и сквозь

http://matheis.ru

стеклянную пластинку проходилъ въ глазъ наблюдателя. Но возвращающіеся изъ глаза лучи становятся настолько сходящимися, что для полученія яснаго изображенія стѣнки наблюдаемаго глаза (ср. § 111) ихъ приходится разсѣивать при помощи чечевицы. Такимъ образомъ Гельмгольцъ изобрѣлъ глазное зеркало. Впослѣдствіи ему придавали и другія формы. Оно пріобрѣло большое значеніе при лѣченіи глазъ и съ его помощью Гельмгольцъ сдѣлалъ нѣсколько другихъ важныхъ открытій.

Въ 1855 г. Гельмгольцъ сталъ профессоромъ физіологіи въ Боннѣ, а въ 1858 г. въ Гейдельбергѣ. Въ 1871 г. онъ былъ приглашенъ въ Берлинскій университетъ директоромъ физическаго института, а въ 1888 г. назначенъ директоромъ вновь открытаго государственнаго физико-техническаго института въ Шарлоттенбургѣ. Эту должность онъ занималъ до смерти.

Рис. 337



Гельмгольцъ.

360. Особенно много сдѣлано Гельмгольцемъ въ области физики уха. При своихъ изслѣдованіяхъ онъ пользовался изобрѣтеннымъ имъ самимъ простымъ приборомъ, такъ называемымъ резонаторомъ. Чтобы понять его дѣйствіе, необходимо предварительно разсмотрѣть колебательныя движенія воздуха въ трубахъ.

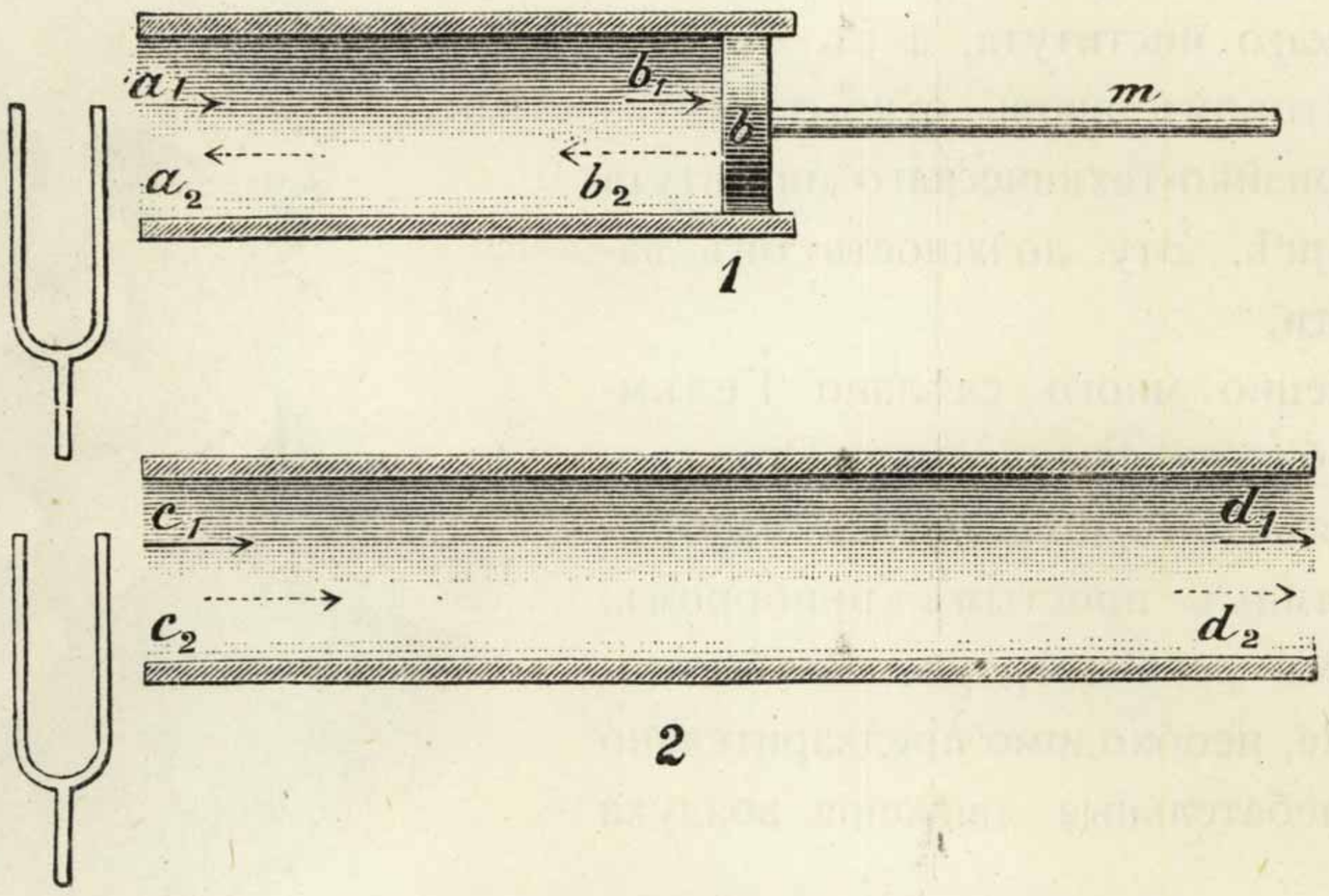
Уже давно было извѣстно, что трубы опредѣленной длины усиливаютъ тоны извѣстной высоты, причемъ тоны эти различны въ зависимости отъ того, открыты ли оба конца трубы или же только одинъ изъ нихъ.

Если помѣстить ножку камертона передъ отверстіемъ трубы (рис. 338, 1), въ которой на разстояніи $^1/_4$ длины волны издаваемаго камертономъ тона (ср. § 343) находится дно или поршень, то при каждомъ своемъ колебаніи въ сторону отверстія камертонъ посылаетъ въ трубу волну сгущенія a. Дойдя до дна b, эта волна отражается и возвращается къ отверстію a_2 въ тотъ моментъ, когда ножка камертона удаляется отъ отверстія, и когда образуется, слѣдовательно, волна разрѣженія. Такимъ образомъ, движеніе a_2 усиливаетъ дѣйствіе камертона, вызывающаго въ этотъ моментъ разрѣженіе (долину волны). Это разрѣженіе въ свою очередь распространяется по направленію ко дну, возвращается къ отверстію и втягиваетъ воздухъ въ отверстіе (a_1) въ то время, когда ножка камертона движется по направленію къ отверстію и вызываетъ, слѣдовательно, движеніе въ томъ же направленіи (a_1). Отраженныя отъ b движенія, такимъ образомъ, совпадаютъ у отверстія трубки съ тѣми движеніями, которыя производитъ камертонъ, и потому тонъ усиливается. То же имѣетъ мѣсто, если длина трубки равна $^3/_4$ длины волны издаваемаго камертономъ тона. Въ этомъ случаѣ волна доходитъ до отверстія не черезъ $^1/_2$ времени колебанія, а черезъ $1^1/_2$ такихъ промежутка времени и находится, слѣдовательно, въ той же фазѣ. Вообще тонъ усиливается закрытой трубой, если длина его волны составляетъ $^1/_4$, $^3/_4$, $^5/_4$, $^7/_4$ и т. д. длины трубы.

http://mathesis.ru

Если держать звучащій камертонъ у отверстія трубы, которая открыта съ обоихъ концовъ и длина которой равна $^1/_2$ длины волны тона, то звукъ также усиливается. Въ самомъ дѣлѣ, когда волна сгущенія c_1 доходитъ до другого конца трубы d_1, то сгущенный воздухъ получаетъ возможность свободно распространяться во всѣ стороны. Вслѣдствіе этого въ концѣ трубы получается разрѣженіе; оно распространяется по трубѣ къ другому ея концу и вызываетъ здѣсь движеніе (c_2), совпадающее съ тѣмъ, которое въ этотъ моментъ возбуждается камертономъ. Такимъ же образомъ открытая труба усиливаетъ звукъ, когда длина трубы превышаетъ длину волны въ

Рис. 338



Усиленіе звука трубами.

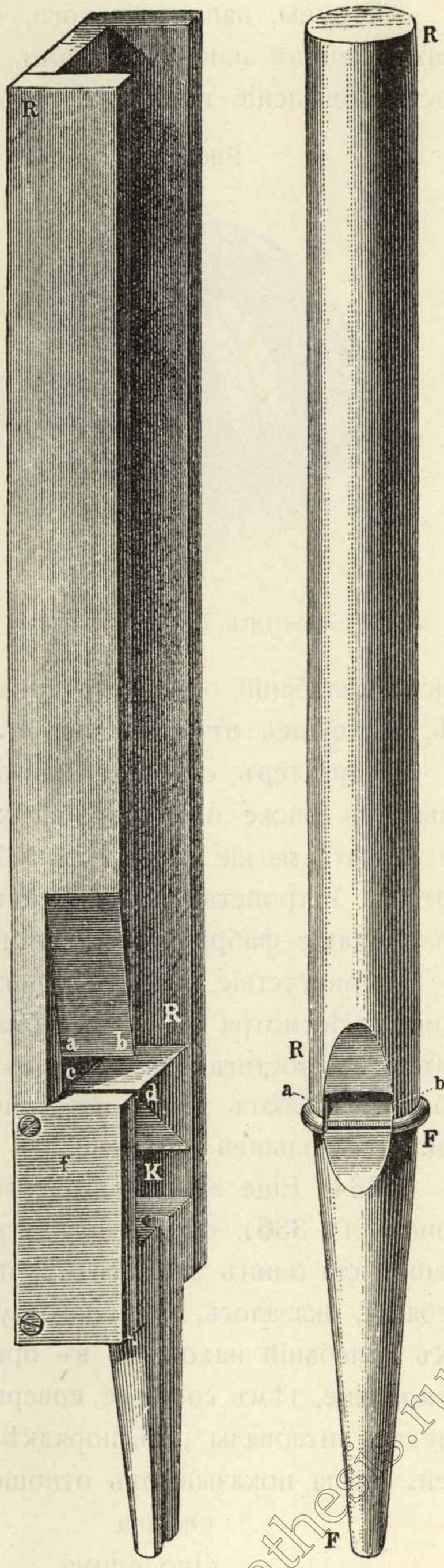
1, $1^1/_2$, 2, $2^1/_2$ и т. д. разъ. Другими словами, открытая труба усиливаетъ звуки въ тѣхъ случаяхъ, когда ея длина содержитъ четное число четвертей волны, закрытая же, когда нечетное.

361. Этимъ путемъ объясняется также дѣйствіе обыкновеннаго свистка и органной трубы (рис. 339). Струя воздуха, вдуваемаго черезъ небольшое отверстіе, попадаетъ на острый край и здѣсь должна измѣнить свое направленіе и либо пойти внутрь трубы, либо выйти наружу. Еслибы движеніе струи воздуха не было ограничено трубою, то воздухъ безпорядочно стремился бы къ острому краю и издавалъ бы свистящій звукъ, какъ это бываетъ въ томъ случаѣ, когда струя воздуха разбивается о лезвіе ножа. Но, попадая въ опредѣленный моментъ въ закрытую трубу, струя воздуха произведетъ сгущеніе и звукъ пробѣжитъ всю длину трубы отъ начала до конца и вернется обратно. Вслѣдствіе этого создастся движеніе, направленное наружу, т. е. струя направится во внѣшній воздухъ. Это поведетъ къ образованію разрѣженія, которое въ свою очередь распространится до конца трубы, возвратится обратно и заставитъ струю воздуха снова войти внутрь. Такимъ образомъ, струя воздуха будетъ поперемѣнно направляться то внутрь трубы, то въ наружный воздухъ,—возникнетъ тонъ, время колебанія котораго будетъ равно времени, необходимому для того, чтобы звукъ пробѣжалъ длину трубы четыре раза (два раза туда и два раза обратно).—Труба можетъ издавать и болѣе высокіе тоны, соотвѣтствующіе тонамъ, упомянутымъ въ § 360. Эти тоны возникаютъ въ томъ случаѣ, если труба не слишкомъ широка и если воздухъ вдувается въ нее съ силой.

http://mathesis.ru

И при открытой трубѣ струя воздуха также приходитъ въ правильное колебательное движеніе. Сгущеніе, возникающее въ тотъ моментъ, когда струя направляется внутрь трубы, достигаетъ ея открытаго конца, получаетъ здѣсь возможность свободно расшириться и потому производитъ разрѣженіе, которое высасываетъ воздухъ изъ трубы. Это высасываніе доходитъ черезъ трубу до струи, которая раньше была направлена наружу, и втягиваетъ теперь ее внутрь. Такъ возникаетъ звукъ, время колебанія котораго равно времени, необходимому, чтобы волна дважды пробѣжала длину трубы (разъ туда и разъ обратно). Число колебаній этого тона, слѣдовательно, должно быть вдвое больше, чѣмъ въ случаѣ закрытой трубы. — И здѣсь болѣе сильное вдуваніе воздуха также можетъ произвести болѣе высокіе тоны.

Рис. 339



Органная труба и свистокъ.

362. Гельмгольцъ подробно изслѣдовалъ, какіе именно высокіе тоны усиливаются трубами различной формы, и ему удалось найти форму, усиливающую лишь одинъ опредѣленный тонъ. Этими „резонаторами“ Гельмгольцъ широко воспользовался для того, чтобы установить присутствіе или отсутствіе какого-нибудь опредѣленнаго тона. Онъ слѣдовалъ при этомъ по пути, намѣченному опытомъ. Органная труба, ширина которой очень велика по сравненію съ ея длиной, лишь съ большимъ трудомъ даетъ какіе-нибудь тоны кромѣ основного. Такого рода трубы усиливаютъ только тотъ тонъ, длина волны котораго равна учетверенной длинѣ трубы.

Гельмгольцъ нашелъ, что свойствомъ усиливать только одинъ опредѣленный тонъ въ еще бо̀льшей степени обладаютъ шары, діаметръ которыхъ равенъ четверти длины волны соотвѣтствующаго тона. На сторонѣ, противоположной входному отверстію, шаръ переходитъ въ узкую открытую трубку, конецъ которой окружается полумягкимъ шеллакомъ и вставляется въ ухо, такъ что звуки могутъ достигать уха только пройдя черезъ шаръ. Въ другое ухо вставляется резонаторъ такой же величины или же оно закрывается размягченнымъ шеллакомъ. Тогда слушатель является какъ бы глухимъ ко всѣмъ звукамъ за исключеніемъ того, который усиливается резонаторомъ. Въ самомъ безпорядочномъ шумѣ или въ музыкальной пьесѣ слышится одинъ этотъ тонъ. При помощи этихъ

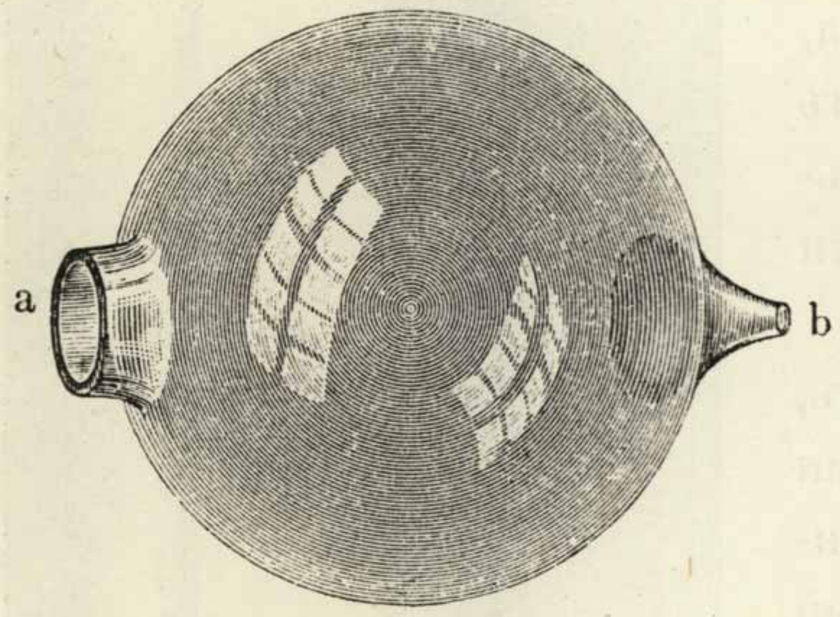
http://mathelib.ru

резонаторовъ Гельмгольцъ произвелъ рядъ важныхъ изслѣдованій различныхъ источниковъ звука и особенно изслѣдованій человѣческаго голоса.

363. Закрытыя органныя трубы и камертоны, послѣдніе особенно тогда, когда они помѣщены передъ служащими резонаторомъ трубами (§ 360), даютъ очень простой, не сильный, но пріятный, хотя и немного глухой тонъ.

Струны, напротивъ того, кромѣ основного тона легко издаютъ цѣлый рядъ высшихъ тоновъ или обертоновъ, вслѣдствіе чего тонъ пріобрѣтаетъ бо̀льшую звучность. Появленіе тѣхъ или другихъ тоновъ обусловливается выборомъ мѣста струны, въ которомъ ее заставляютъ колебаться. Если дѣлать это посрединѣ, то исчезаютъ „четные“ обертоны, т. е. такіе, число колебаній которыхъ вдвое, вчетверо и т. д. больше числа колебаній основного тона; отъ этого звукъ становится глухимъ. Съ другой стороны, присутствіе довольно высокихъ „нечетныхъ“ обертоновъ дѣлаетъ его скрипучимъ. Поэтому въ музыкѣ стараются, чтобы получалось много первыхъ обертоновъ (съ числомъ колебаній въ два—шесть разъ больше числа колебаній основного тона) и избѣгаютъ обертоновъ, число колебаній которыхъ въ семь разъ больше числа колебаній основного тона. Струны піанино ударяются поэтому вообще въ точкѣ, отстоящей отъ конца на $^1/_7$ длины.

Рис. 340



Резонаторъ Гельмгольца.

Характеръ струннаго звука или его тембръ, обусловленный числомъ обертоновъ, зависитъ также отъ способа, какимъ струна приводится въ колебаніе,—будутъ ли ее дергать мягкіе пальцы, или будетъ по ней ударять металлическій штифтъ или молотокъ. Устройство молотка и продолжительность удара также должны приниматься во вниманіе фабрикантомъ инструментовъ и музыкантомъ.

Присутствіе очень высокихъ обертоновъ дѣлаетъ тоны хриплыми и дребезжащими. Несмотря на это въ большихъ оркестрахъ съ ихъ помощью (треугольникъ, литавры) достигаютъ хорошихъ результатовъ въ надлежащихъ мѣстахъ. Высокіе обертоны даютъ также металлическія трубы, гармоника и другіе инструменты, состоящіе въ большей или меньшей степени изъ металла.

364. Еще задолго до того, какъ стало извѣстно что-либо о числѣ колебаній тоновъ (§ 33**б**), опытъ научилъ человѣка, какіе тоны производятъ, звуча одновременно или одинъ за другимъ, пріятное впечатлѣніе. Когда стали извѣстны числа колебаній, оказалось, что благозвучность двухъ тоновъ обусловливается тѣмъ, что числа ихъ колебаній находятся въ простомъ отношеніи другъ къ другу. Чѣмъ проще это отношеніе, тѣмъ созвучіе совершеннѣе. Если исключить „унисонъ“, то пріятные для слуха „интервалы“, въ порядкѣ ихъ благозвучности, представятся слѣдующей таблицей. Числа показываютъ отношеніе числа колебаній основного тона и указаннаго:

Октава	1 : 2
Дуодецима	1 : 3
Квинта	2 : 3
Кварта	3 : 4

http://mathesis.ru

Большая секста	3 : 5
Большая терція	4 : 5
Малая терція	5 : 6

Каждая пара этихъ тоновъ имѣетъ одинъ или нѣсколько общихъ обертоновъ, которые тѣмъ выше, чѣмъ меньше интервалъ между обоими тонами. Если число колебаній основного тона обозначить черезъ T_1, число колебаній его обертоновъ черезъ T_2, T_3..., число колебаній другого тона взятаго интервала и его обертоновъ соотвѣтственно черезъ t_1, t_2, t_3..., то для основного тона T_1 съ 300 колебаній получается слѣдующая таблица.

	300	600	900	1200	1500	1800
Основной тонъ (300)	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6
Октава (600)	—	t_1	—	—	—	—
Дуодецима (900)	—	—	t_1	—	—	—
Квинта (450)	—	—	t_2	—	—	—
Кварта (400)	—	—	—	t_3	—	—
Большая секста (500)	—	—	—	—	t_3	—
Большая терція (375)	—	—	—	—	t_4	—
Малая терція (360)	—	—	—	—	—	t_5

Чѣмъ благозвучнѣе интервалъ, тѣмъ ближе, какъ видно изъ приведенной таблицы, лежатъ тоны или обертоны, совпадающіе съ обертонами основного тона.

Если указанные тоны производятся струной или подобными ей источниками звука, дающими обертоны до t_6, до для упомянутыхъ благозвучныхъ интерваловъ всегда существуетъ пара первыхъ или слѣдующихъ за ними обертоновъ, которые совпадаютъ другъ съ другомъ. Этимъ усиливается гармонія взятыхъ двухъ тоновъ и облегчается переходъ отъ одного къ другому, такъ какъ всегда существуетъ пара тоновъ, звучащихъ совершенно одинаково.

365. На существованіи общихъ обертоновъ въ двухъ тонахъ, дающихъ благозвучный аккордъ, въ XVIII вѣкѣ строилось ученіе о гармоніи. Главнымъ представителемъ ея былъ знаменитый французскій музыкантъ и композиторъ Ж. Ф. Рамо (1683—1764). Но это объясненіе предполагаетъ, что оба тона сопровождаются всѣми своими ближайшими обертонами. Оно поэтому было недостаточно для тоновъ, обладающихъ небольшимъ числомъ обертоновъ или неимѣющихъ ихъ вовсе. Источники звука, издающіе лишь подобные тоны, значительно менѣе пригодны для музыкальныхъ цѣлей, потому что въ нихъ отсутствуютъ обертоны, служащіе связующимъ звеномъ между двумя слѣдующими другъ за другомъ тонами. Именно поэтому и могутъ возникать дисгармоніи, какъ при совпаденіи двухъ тоновъ, такъ и при слѣдованіи ихъ одного за другимъ.

Гельмгольцъ далъ этому другое объясненіе. Чѣмъ дальше два тона другъ отъ друга, тѣмъ быстрѣе слѣдуютъ толчки или біенія одинъ за другимъ (§ 338). Это придаетъ тонамъ непріятный звукъ и непріятное ощущеніе бываетъ сильнѣе всего, когда число біеній для тоновъ средней высоты доходитъ приблизительно до 33 въ секунду. Для болѣе низкихъ тоновъ число это нѣсколько меньше, для болѣе высокихъ нѣсколько больше. Если увеличить число біеній, то непріятное ощущеніе

http://mathesis.ru

уменьшается и при 132 біеніяхъ для тоновъ средней высоты оно совершенно исчезаетъ. Такимъ образомъ, Гельмгольцъ нашелъ нѣкоторое мѣрило для диссонанса двухъ тоновъ и приложилъ его къ различнымъ благозвучнымъ интерваламъ, которые раньше считались болѣе или менѣе дисгармоничными.

При помощи своихъ резонаторовъ Гельмгольцъ нашелъ, что біенія могутъ давать не только два основныхъ тона, когда они настроены не вполнѣ въ унисонъ, но и какая-нибудь пара обертоновъ, которые онъ при помощи резонаторовъ умѣлъ теперь отдѣлить отъ основныхъ тоновъ и остальныхъ обертоновъ. Эти біенія тѣмъ быстрѣе слѣдуютъ одинъ за другимъ, конечно, чѣмъ обертоны дальше другъ отъ друга. Далѣе, тонъ Тартини, производимый обоими тонами, можетъ давать съ однимъ изъ нихъ біенія. Если между двумя основными тонами, ихъ обертонами и тонами Тартини попадутся два такихъ тона, которые даютъ 33 біенія въ секунду, то звукъ станетъ въ высшей степени непріятнымъ. Меньшее или большее число біеній, если оно не превосходитъ 132, даютъ диссонансъ. Изъ сопоставленія благозвучныхъ интерваловъ (стр. 349) видно, что октава, дуодецима и всѣ ихъ обертоны лежатъ къ основному тону и его обертонамъ не ближе, чѣмъ на 300 колебаній. Для тоновъ Тартини числа будутъ 300 и 600. Квинта съ ея обертонами и тонами Тартини также не даетъ интервала меньше 150; такимъ образомъ, и эти интервалы не даютъ никакого диссонанса. Поэтому они уже давно получили названіе „абсолютно благозвучныхъ“ (абсолютный консонансъ). Кварта и ея обертоны и тоны Тартини (100) не даютъ съ основнымъ тономъ и его обертонами меньше 100 біеній, напримѣръ, 300 и 400 или 900 (T_2) и 800 (t_2). Но это почти не ощущается, такъ что кварта еще считается „абсолютнымъ консонансомъ“. Въ менѣе благопріятныхъ условіяхъ находятся низкіе тоны. Если, напримѣръ, число колебаній тона составляетъ 150, а слѣдовательно, число колебаній его кварты 200, то число біеній въ секунду будетъ ровно 50. Для этихъ тоновъ уже квинта кажется слегка непріятной. Ее поэтому часто называютъ не „абсолютнымъ“, а только „совершеннымъ консонансомъ“.

Большая секста также обусловливаетъ тоны со 100 біеніями. Но при высотѣ тона въ 500—600 колебаній такой тонъ даетъ замѣтный диссонансъ. Поэтому большую сексту, а также большую терцію, дающую 75 біеній, называютъ „среднимъ консонансомъ“.

Малая терція даетъ съ основнымъ тономъ и съ нѣсколькими обертонами 60 біеній и поэтому называется „несовершеннымъ консонансомъ“.

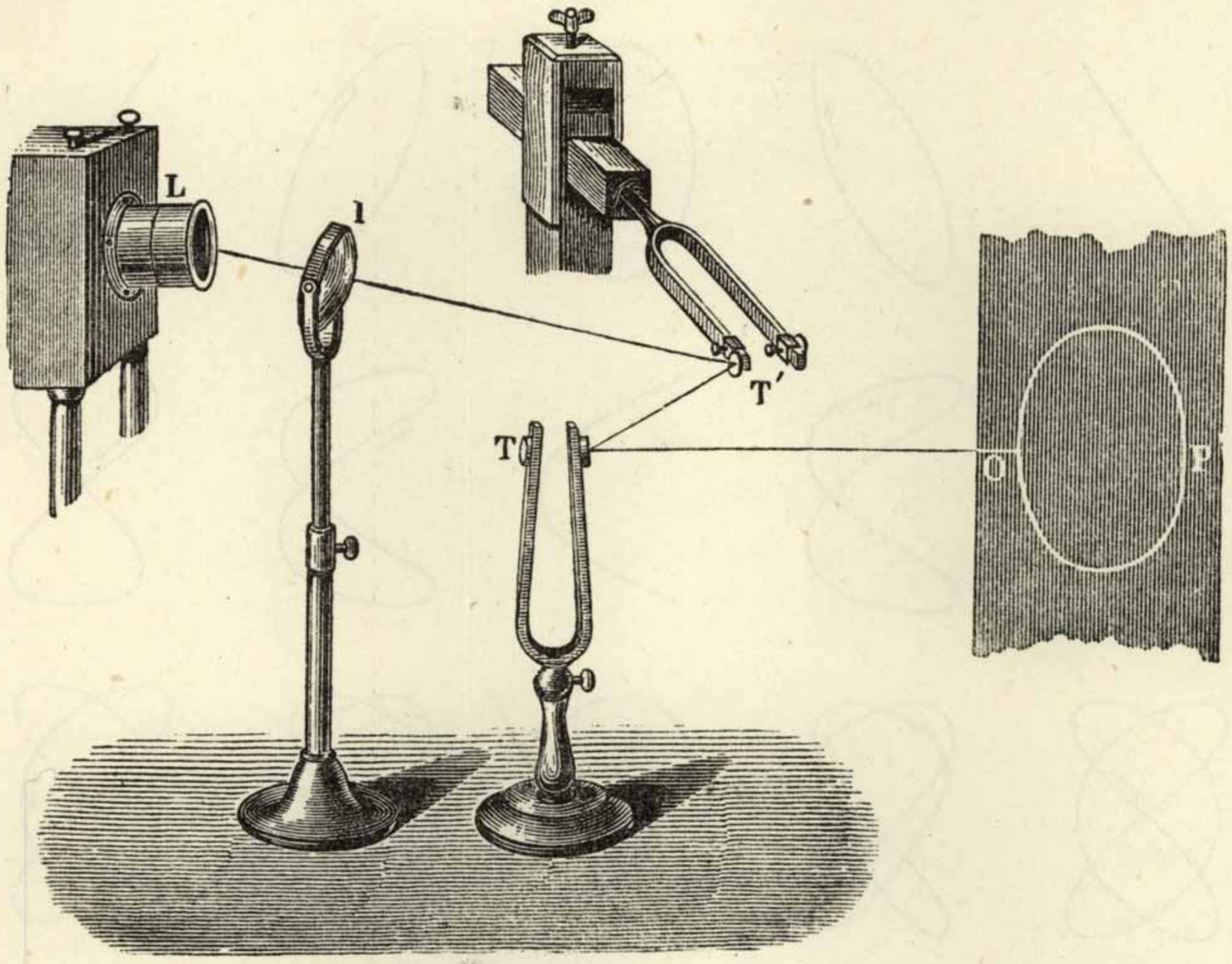
Для того чтобы три тона давали пріятное сочетаніе, каждая пара ихъ должна представлять благозвучный интервалъ. Такимъ образомъ, числа колебаній 300, 400 и 500 образуютъ благозвучный аккордъ, потому что 300 и 400 колебаній даютъ кварту, 400 и 500—большую терцію, а 300 и 500 большую сексту. Септимы теперь уже не употребляются въ музыкѣ, такъ какъ не удовлетворяютъ этому условію. Сами по себѣ два тона, числа колебаній которыхъ относятся какъ 4:7, даютъ консонансъ, но ни одинъ изъ нихъ не даетъ консонанса съ благозвучными интервалами другого. Октава болѣе низкаго изъ нихъ, напримѣръ, даетъ диссонансъ съ высокимъ тономъ пары.—Менѣе благозвучной, чѣмъ септима, является малая секста; числа колебаній тоновъ этого интервала относятся между собою, какъ 5:8. Ею тѣмъ не менѣе пользуются, такъ какъ каждый изъ ея тоновъ даетъ консонансъ съ обертонами другого.

http://mathesis.ru

366. Французскому физику Лиссажу удалось въ 1863 году получить очень красивыя свѣтовыя явленія при помощи камертоновъ, дающихъ благозвучные интервалы.

Ножки двухъ камертоновъ на внѣшней сторонѣ имѣютъ по маленькому зеркальцу. Одинъ изъ камертоновъ T' (рис. 341) колеблется въ горизонтальной плоскости, другой, T—въ вертикальной. Яркій лучъ свѣта изъ фонаря L проходитъ черезъ линзу J, падаетъ на зеркальце камертона T', отражается имъ, падаетъ на зеркальце

Рис. 341



Колеблющіеся камертоны Лиссажу.

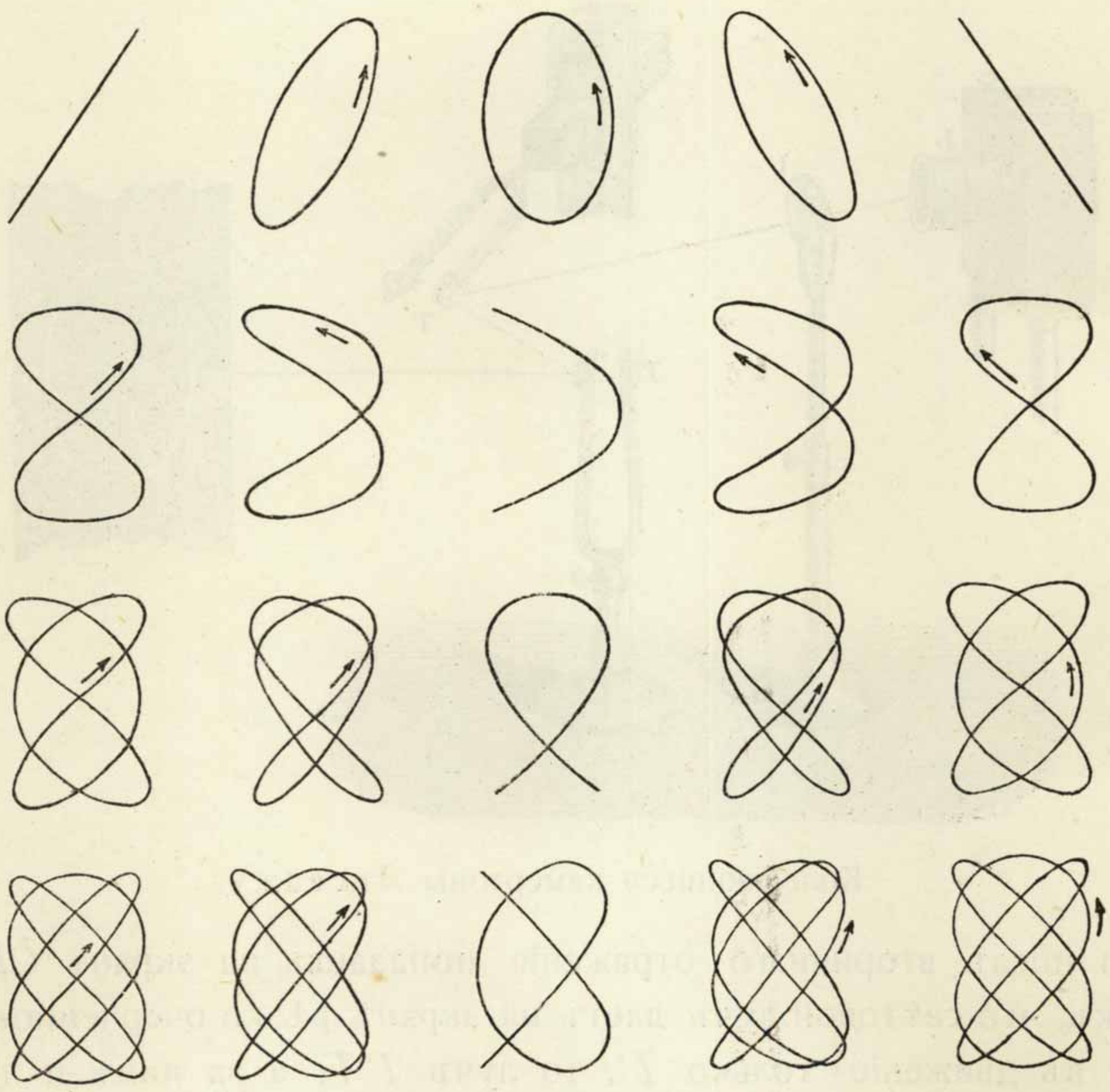
камертона T и послѣ вторичнаго отраженія попадаетъ на экранъ OP Зеркала отшлифованы такъ, что свѣтовой лучъ даетъ на экранѣ рѣзко очерченное свѣтлое пятно. Если привести въ движеніе только T', то лучъ $T'T$, а за нимъ и лучъ TO, колеблется взадъ и впередъ, такъ что и свѣтлое пятно на экранѣ перемѣщается по горизонтальной линіи между O и P. При колебаніи одного только второго камертона, свѣтлое пятно движется вверхъ и внизъ по вертикальной линіи. При колебаніи обоихъ камертоновъ пятно совершаетъ оба движенія одновременно. Форма кривой, описываемой свѣтлымъ пятномъ на экранѣ, зависитъ отъ отношенія чиселъ колебаній взятыхъ камертоновъ.

Если оба тона звучатъ въ унисонъ, то наблюдается одна изъ верхнихъ пяти фигуръ (рис. 342). Когда ножки обоихъ камертоновъ наиболѣе отклонены отъ своихъ положеній равновѣсія, свѣтовое пятно занимаетъ одновременно ~~самое~~ наиболее низкое и самое лѣвое положеніе. Затѣмъ свѣтовое пятно движется одновременно вправо и вверхъ и описываетъ прямую линію, изображенную на первой изъ пяти фигуръ. Достигнувъ верхней точки справа, пятно движется по той же прямой налѣво внизъ. Если же камертонъ T' опережаетъ камертонъ T на четверть времени колебанія, то свѣтовое пятно занимаетъ самое низкое мѣсто по срединѣ между крайними лѣвымъ и правымъ положеніями и описываетъ среднюю изъ упомянутыхъ выше пяти фигуръ. Изъ этого положенія „посредине внизу“ пятно переходитъ направо вверхъ и дости-

http://mathesis.ru

гаетъ крайняго положенія справа на срединѣ своего пути вверхъ. Продолжая затѣмъ подыматься, оно повертываетъ налѣво и доходитъ до средины наверху; далѣе, продолжая двигаться влѣво, оно опускается и на половинѣ своего пути внизъ достигаетъ крайняго лѣваго положенія; наконецъ, продолжая опускаться, оно направляется вправо и возвращается къ исходному пункту и т. д. — Если одинъ камертонъ опережаетъ другой на половину времени колебанія, т. е. если ножки камертона T' бываютъ ближе всего другъ къ другу, когда ножки камертона T больше всего удалены одна отъ другой, то, какъ легко убѣдиться, получается послѣдняя изъ пяти верхнихъ фигуръ.

Рис. 342



Фигуры Лиссажу.

Наконецъ, если указанная разница составляетъ $^1/_8$ или $^3/_8$ времени колебанія, то получается вторая или четвертая фигура, являющаяся промежуточной между первой и третьей или третьей и пятой фигурами.

Если камертоны издаютъ не вполнѣ одинаковый тонъ и сначала даютъ первую фигуру, то затѣмъ одинъ камертонъ все болѣе и болѣе опережаетъ другой и одна фигура постепенно переходитъ въ слѣдующую. Такимъ путемъ можно открывать самыя незначительныя разницы въ продолжительности колебаній камертоновъ.

Если камертонъ T' колеблется вдвое быстрѣе T, т. е. издаетъ тонъ октавой выше, то получается одна изъ пяти фигуръ второй группы. И въ этомъ случаѣ фигуры переходятъ одна въ другую, если камертоны издаютъ не вполнѣ одинаковые тоны. Третья и четвертая группы рисунка возникаютъ тогда, когда камертоны даютъ основной тонъ и квинту и основной тонъ и кварту. Если пройти, напримѣръ, по первой фигурѣ кварты слѣва внизъ по направленію, указанному стрѣлкой, до возвращенія къ исходной точкѣ, то легко замѣтить, что движеніе идетъ четыре раза направо и четыре раза налѣво, но только три раза вверхъ и три раза внизъ, такъ

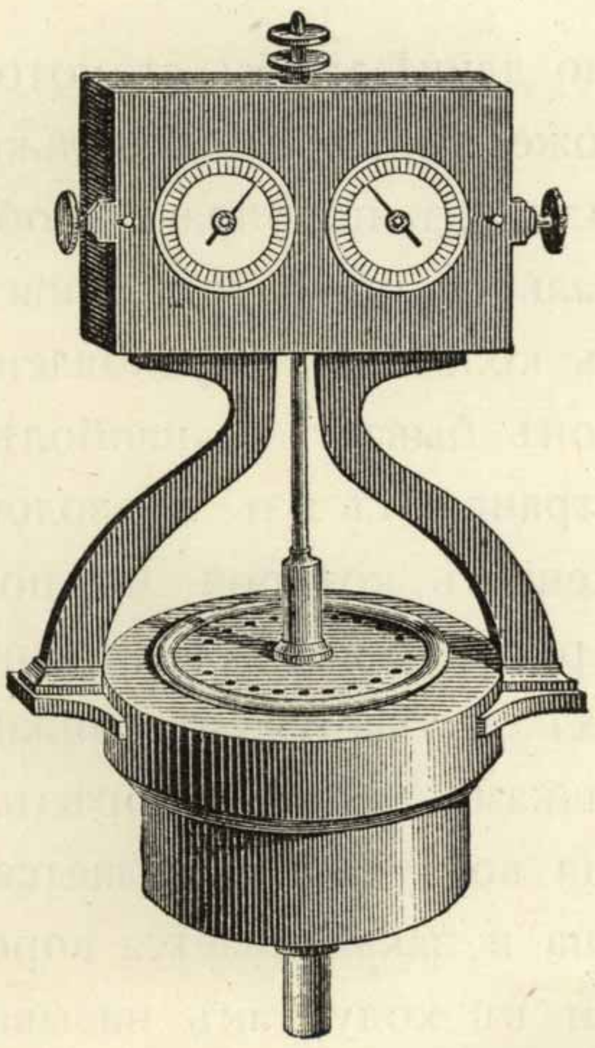
http://mathesis.ru

какъ камертонъ T' дѣлаетъ четыре колебанія въ то время, какъ камертонъ T дѣлаетъ ихъ только три. Нѣчто подобное имѣетъ мѣсто и для всѣхъ другихъ фигуръ.

367. Числа колебаній тоновъ опредѣляются различнымъ образомъ. Важнѣйшій методъ заключается въ слѣдующемъ: механическимъ путемъ движеніе струи воздуха прерывается черезъ опредѣленные промежутки времени такъ, что въ секунду воздухъ получаетъ опредѣленное число толчковъ. Англійскій физикъ Робисонъ достигъ этой цѣли при помощи особаго крана, а Зеебекъ тѣмъ, что вдуваемый черезъ трубу воздухъ попадалъ на быстро вращающійся картонный кружокъ съ отверстіями, расположенными по окружности. Струя воздуха проходила черезъ каждое изъ этихъ отверстій, когда оно приходилось противъ трубы.

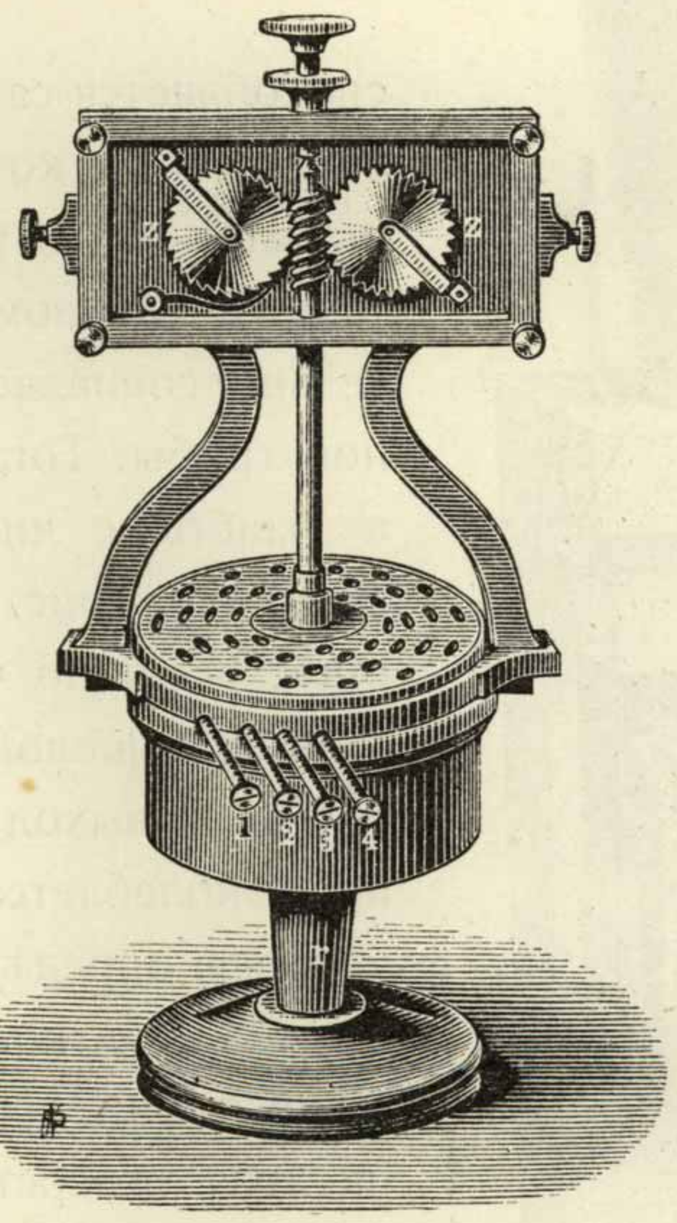
Эти опыты удаются лучше всего при помощи сирены (рис. 343), впервые построенной Каньяръ Делатуромъ и усовершенствованной впослѣдствіи Дове, Гельмгольцемъ и др. Горизонтальная круглая пластинка, укрѣпленная на вертикальной оси, снабжена отверстіями, расположенными по окружности на равныхъ разстояніяхъ

Рис. 343



Сирена.

Рис. 344



Сложная аккордная сирена.

другъ отъ друга. Эти отверстія при вращеніи пластинки проходятъ надъ соотвѣтствующимъ рядомъ отверстій въ крышкѣ цилиндрической коробки, въ которую при помощи мѣховъ вдувается воздухъ. Когда отверстія въ пластинкѣ приходятся какъ разъ противъ отверстій въ крышкѣ, воздухъ устремляется черезъ нихъ. Если же отверстія пластинки приходятся надъ промежутками между отверстіями въ крышкѣ, то движеніе воздуха прерывается.

Отверстія въ пластинкѣ и въ крышкѣ пробуравлены наискось въ противоположныхъ другъ другу направленіяхъ. Вслѣдствіе этого выходящій воздухъ давитъ на стѣнки отверстій подвижной пластинки и тѣмъ приводитъ ее во вращеніе. Нѣтъ необходимости, поэтому, въ особомъ механизмѣ для вращенія пластинки. Она приво-

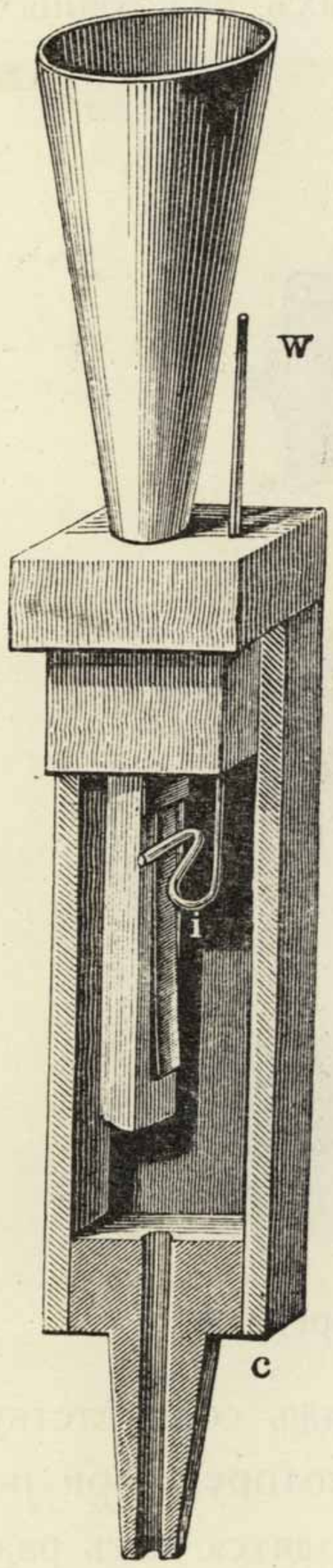
http://mathesis.ru

дится въ движеніе воздушной струей, и если послѣдняя идетъ равномѣрно, то быстрота вращенія, а вслѣдствіе этого и высота тона почти не мѣняются. На верхней части оси находится „безконечный винтъ“, соединенный съ счетчикомъ. Число колебаній получаемаго тона равно произведенію числа отверстій на число оборотовъ.

368. Высота тона, производимаго свисткомъ, зависитъ отъ длины его трубки. Основной тонъ закрытой трубки составляетъ октаву съ основнымъ тономъ открытой одинаковой съ нею длины.

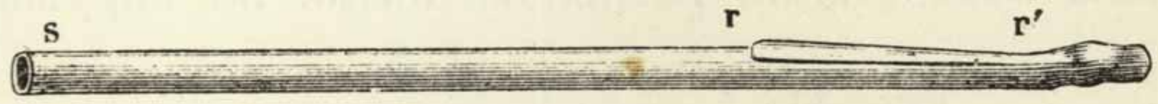
Въ язычковыхъ трубахъ находится упругій язычекъ, колебанія котораго попеременно то открываютъ, то закрываютъ отверстіе для воздуха. Этому язычку можно придать такую форму, что онъ или часть его могутъ колебаться съ различной быстротой. Для этого онъ долженъ быть мягкимъ. Въ такомъ случаѣ онъ легко при-

Рис. 345



Язычковая труба.

Рис. 346



Дудка (съ язычкомъ) изъ соломинки.

способляется самъ соотвѣтственно длинѣ трубы, съ которой соединяется и въ которой воздухъ можетъ колебаться только согласно указанному въ § 360. Однако, язычокъ подбираютъ обыкновенно такимъ образомъ, что его нормальное время колебанія приблизительно совпадаетъ съ временемъ колебанія, обусловленнымъ длиной трубы. Тогда получаемый тонъ бываетъ и наиболѣе сильный и наиболѣе чистый. Иногда устраиваютъ изъ проволоки особую задержку (рис. 345), передвиженіемъ которой можно отдѣлить опредѣленную часть языка. На рис. 345 видно внутреннее устройство язычковой трубы. Воздухъ вдувается въ нижнюю часть трубы и выходитъ изъ нея толчками черезъ прорѣзъ, въ которомъ колеблется язычокъ; отсюда воздухъ направляется въ трубу, которая опредѣляетъ высоту тона и заканчивается воронкообразнымъ придаткомъ. Прежде были въ ходу такъ называемые „захлопывающіе“ язычки, которые при каждомъ колебаніи ложились на края отверстія и совершенно закрывали его, между тѣмъ какъ въ настоящее время болѣе употребительны язычки, свободно колеблющіеся въ прорѣзѣ, не закрывая его всецѣло.

Въ инструментахъ безъ трубы, какъ, напримѣръ, въ гармоникѣ, высота тона зависитъ исключительно отъ язычка, вслѣдствіе чего онъ долженъ быть подобранъ такъ, чтобы издавать соотвѣтствующій тонъ.

Въ полѣ можно приготовить язычковыя трубы изъ различныхъ растеній, напримѣръ, изъ стебля злаковъ; для этого нужно отрѣзать кусокъ соломинки приблизительно въ 20 сантиметровъ длиной, закрытый съ одного конца узломъ стебля; возлѣ узла, по направленію къ нему, дѣлаютъ надрѣзъ и такимъ образомъ получаютъ отверстіе въ 2—3 *см* съ соотвѣтствующимъ язычкомъ. При вдуваніи въ трубку получается тонъ, опредѣляемый длиною трубки.

http://matnesis.ru

Если срѣзать часть трубки у открытаго конца, то тонъ повышается—доказательство того, что высота тона опредѣляется длиной трубки. Если трубку изъ ивовой коры или изъ свѣжаго стебелька злака защемить на одномъ концѣ, взять ущемленный конецъ въ ротъ и дуть въ эту трубку, то получится тонъ, высота котораго обусловливается главнымъ образомъ длиною трубки.

Въ трубахъ послѣдняго рода язычокъ замѣняется двумя пластинками или перепонками, но ихъ также причисляютъ къ язычковымъ трубамъ. Сюда принадлежатъ также свистки съ щелью, устройство которыхъ представлено на рис. 347. Трубка на концѣ срѣзывается наискось съ двухъ сторонъ, такъ что поверхности срѣза образуютъ приблизительно прямой уголъ. Сверху натягиваютъ двѣ резиновыя полоски такъ, чтобы онѣ образовали узкую щель. Концы ихъ обматываютъ вокругъ трубы и завязываютъ ниткой.

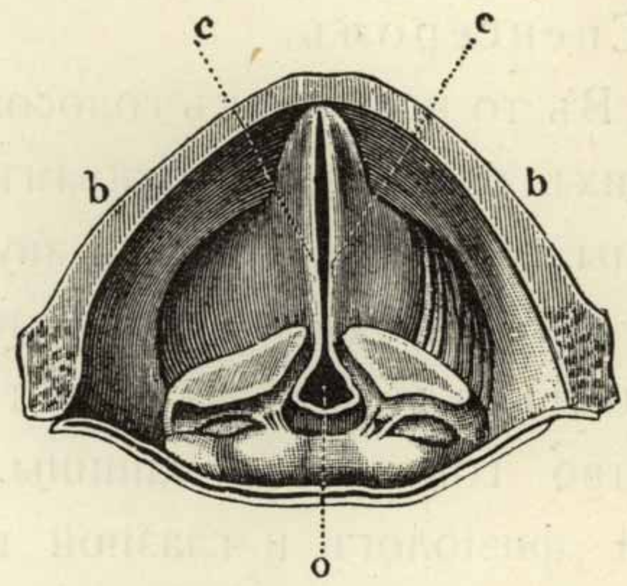
369. Только что описанный приборъ имѣетъ нѣкоторое сходство съ голосовыми органами человѣческаго горла (рис. 348). Существенную часть этихъ органовъ составляютъ двѣ эластическія связки, называемыя голосовыми, которыя натягиваются

Рис. 347



Свистокъ съ щелью Гельмгольца.

Рис. 348



Поперечный разрѣзъ глотки.

особыми мускулами; отверстіе горла закрывается ими такъ, что остается лишь небольшой просвѣтъ, носящій названіе голосовой щели. Связки натягиваются лишь въ томъ случаѣ, когда мы издаемъ звуки или дѣлаемъ глубокое вдыханіе. Въ остальныхъ случаяхъ онѣ остаются ненатянутыми и спокойное дыханіе происходитъ безъ замѣтнаго шума.

Но при пѣніи какого-нибудь тона голосовыя связки напрягаются и воздухъ выгоняется черезъ голосовую щель. Голосовыя связки колеблются тогда съ опредѣленной скоростью, зависящей отъ степени ихъ натяженія. Отъ удлиненія трубки, образуемой глоткой и полостью рта, она зависитъ очень мало. Стѣнки глотки слишкомъ мягки для того, чтобы заставить голосовыя связки приспособиться ко времени колебанія, опредѣляемому ими. Съ другой стороны, напряженіе голосовыхъ связокъ, а слѣдовательно, и высота тона въ извѣстныхъ границахъ остаются въ нашей власти. Границы эти для разныхъ лицъ различны. У человѣка, обладающаго басомъ, число колебаній въ секунду можетъ падать до 81, въ исключительныхъ случаяхъ—даже до 44. Женское сопрано можетъ достигнуть высоты въ 1381 колебаніе въ секунду. Извѣстенъ даже случай, когда число колебаній достигало 2069. При крикѣ возможны, конечно, еще болѣе высокіе тоны.

Чтобы издавать опредѣленные тоны, требуется не только знаніе этихъ тоновъ,

http://mathesis.ru

но и извѣстное умѣнье управлять голосовыми связками. Въ этомъ отношеніи большую роль играетъ, конечно, упражненіе. Красота звука въ значительной мѣрѣ зависитъ также отъ устройства голосовыхъ связокъ и отъ того, какъ онѣ колеблются. Это можно наблюдать при помощи особаго горлового зеркала. Найдено, напримѣръ, что мягкій звучный тонъ получается при гладкихъ по краямъ, хорошо закрывающихся голосовыхъ связкахъ, а рѣзкій звукъ вызывается негладкими связками, соприкасающимися въ нѣсколькихъ мѣстахъ другъ съ другомъ, и что частичка слизи въ состояніи лишить голосъ его звучности; переполненныя кровью и раздраженныя голосовыя связки даютъ болѣе низкій тонъ.

Изобрѣтателемъ вышеупомянутаго зеркала является извѣстный Мануэль Гарсіа (род. въ 1805 г. въ Мадридѣ), бывшій учителемъ пѣнія въ Парижѣ и въ Лондонѣ; онъ построилъ свой методъ преподаванія на физіологическихъ данныхъ.

Напряженіе голосовыхъ связокъ обыкновенно зависитъ отъ нашей воли, но иногда оно можетъ опредѣляться непосредственно нашими настроеніями. Радость и печаль выражаются въ тонѣ голоса, точно такъ же, какъ мужество и боязнь, восхищеніе или презрѣніе. Эта связь настроенія съ звуками голоса играетъ важную роль въ музыкальномъ творчествѣ и во вліяніи музыки, какъ это въ новѣйшее время было выяснено Спенсеромъ.

370. Въ то время какъ голосовыя связки даютъ тонъ, образованіе звуковъ, соотвѣтствующихъ различнымъ буквамъ, слоговъ и словъ принадлежитъ, очевидно, рту.

Законы образованія этихъ звуковъ были изслѣдованы въ новѣйшее время частью опытнымъ путемъ, частью теоретически многими учеными, какъ, напримѣръ, Кратценштейномъ, который въ 1796 году получилъ отъ Петербургской Академіи премію за устройство говорящей машины. Этимъ вопросомъ занимался также знаменитый голландскій физіологъ и глазной врачъ Франсъ Корнелисъ Дондерсъ (1818—1889), который извѣстенъ своей теоріей очковъ и ея приложеніемъ къ астигматическимъ глазамъ. Изъ другихъ изслѣдователей въ этой области слѣдуетъ упомянуть англичанъ Виллиса и Витстона и австрійца ф. Кемпелена, который также построилъ говорящую машину. Когда Гельмгольцъ занялся этимъ вопросомъ, существовалъ уже цѣлый рядъ цѣнныхъ работъ о природѣ буквъ и даже попытокъ искусственно воспроизвести соотвѣтствующіе имъ звуки. Работы Гельмгольца даютъ прекрасное и полное объясненіе физической природы человѣческаго голоса, основанное частью на прежнихъ, частью на его собственныхъ изслѣдованіяхъ. Гельмгольцъ имѣлъ для своихъ работъ прекрасное пособіе въ изобрѣтенныхъ имъ резонаторахъ; а гдѣ послѣдніе оказывались недостаточными, онъ умѣлъ помочь себѣ различными остроумными пріемами.

371. Какъ показали изслѣдованія природы гласныхъ звуковъ, ихъ звукъ обусловливается тѣмъ, что издаваемый голосовыми связками тонъ сопровождается тѣми или другими обертонами. Еслибы представить гласные звуки графически, то получилась бы большая волнообразная линія съ мелкими завитками на ней. Гельмгольцъ нашелъ, что оттѣнки звука различныхъ гласныхъ опредѣляются слѣдующими обертонами. Онъ различалъ глухое краткое *й* и открытое *и* (русское *у*[1]).

---

[1]) Приведенныя въ этомъ и въ слѣдующихъ параграфахъ изслѣдованія Гельмгольца относились, конечно, къ гласнымъ звукамъ нѣмецкаго языка. *Прим. пер.*

http://mathesis.ru

Глухое *й(ў)*	обусловливается	обертономъ	f	съ	176	колебаніями,
открытое *и (у)*	„	„	f_1	„	352	„
о	„	„	b_1	„	475	„
а	„	„	b_2	„	950	„
ä (э)	„	„	d_2 / g_3	„	594 / 1584	„
е	„	„	f_1 / b_3	„	352 / 1900	„
і	„	„	f / d_4	„	176 / 2374	„
ö	„	„	f_1 / cis_3	„	352 / 1100	„
ü	„	„	f_1 / g_3	„	352 / 1584	„

Такимъ образомъ, *и*, *о* и *а* обусловливаются однимъ обертономъ, остальные же —двумя, иногда очень высокими тонами.

372. Гельмгольцъ объясняетъ даже, какимъ образомъ получаются эти болѣе высокіе тоны.

Стѣнки полости рта слишкомъ мягки, чтобы заставить голосовыя связки издавать тонъ, соотвѣтствующій размѣрамъ и формѣ полости рта. Высота тона въ гораздо бо̀льшей степени опредѣляется напряженіемъ связокъ, но части связокъ могутъ колебаться съ быстротой, зависящей отъ длины трубки (полости рта). При произнесеніи звуковъ *и*, *о* и *а* ротъ образуетъ одну полость, такъ какъ языкъ вообще прижимается книзу. При *и* ротъ спереди плотно закрытъ, при *о* нѣсколько открытъ на подобіе трубки, при *а* онъ открывается еще больше, принимая форму воронки. Закрытая трубка даетъ самый низкій тонъ для *и* (ср. § 361), болѣе открытая обусловливаетъ болѣе высокіе тоны *о* и *а*.

При остальныхъ гласныхъ *ä*, *е*, *і*, *ö* и *ü* языкъ нѣсколько прижимается къ нёбу. Вслѣдствіе этого получается трубка въ задней части рта, а также болѣе или менѣе закрытая полость между языкомъ и губами. Участіе языка въ произнесеніи этихъ звуковъ нетрудно обнаружить: легко, напримѣръ, убѣдиться въ томъ, что при произнесеніи *ä* и *ü* языкъ сохраняетъ одно и то же положеніе (1584 колебанія), тогда какъ губы для *ä* открываются больше (594 колебанія), чѣмъ для *ü* (352 колебанія). Наиболѣе высокій тонъ мы издаемъ при произнесеніи *і*. Если попробовать произнести этотъ звукъ шопотомъ, то получается ясное впечатлѣніе звука свистка (2374 колебанія), который образуется въ маленькой трубкѣ между языкомъ и нёбомъ. Если произнести шопотомъ *ü*, то получается другой, болѣе низкій тонъ свистка (1584 колебанія).

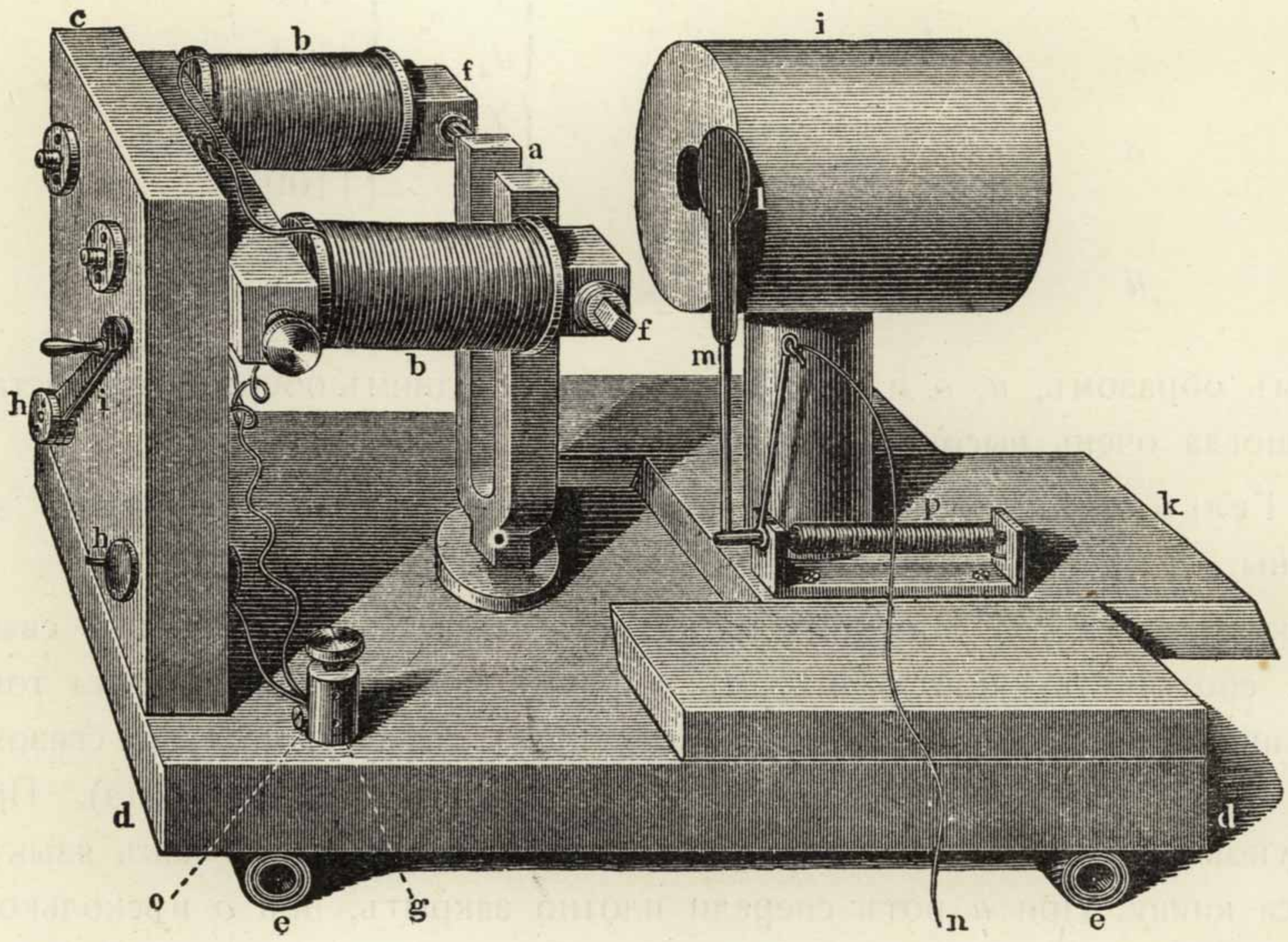
373. Наконецъ Гельмгольцу удалось при помощи чисто физическихъ средствъ получить вполнѣ ясные гласные звуки. Нѣсколько камертоновъ съ числами колебаній, соотвѣтствующими указаннымъ въ § 371 тонамъ, приводились въ колебаніе электрическимъ токомъ подобно электрическому звонку. Передъ каждымъ камерто-

http://mathesis.ru

номъ находился резонаторъ съ клапаномъ передъ отверстіемъ, которое можно было по желанію увеличивать или уменьшать, такъ что тонъ, неслышный безъ резонатора, усиливался въ бо̀льшей или меньшей степени.

При помощи этого прибора Гельмгольцу удалось, правильнымъ употребленіемъ клапановъ, получить всѣ гласныя за исключеніемъ *e* и *i*, содержащихъ болѣе высокіе тоны, чѣмъ тѣ, которые могли быть получены камертонами этого прибора. Дѣло въ томъ, что въ этомъ приборѣ нельзя брать камертоны какого угодно высокаго тона, такъ какъ иначе замыканія тока не будутъ происходить достаточно хорошо.

Рис. 349



Приборъ съ камертонами для полученія гласныхъ (Гельмгольцъ).

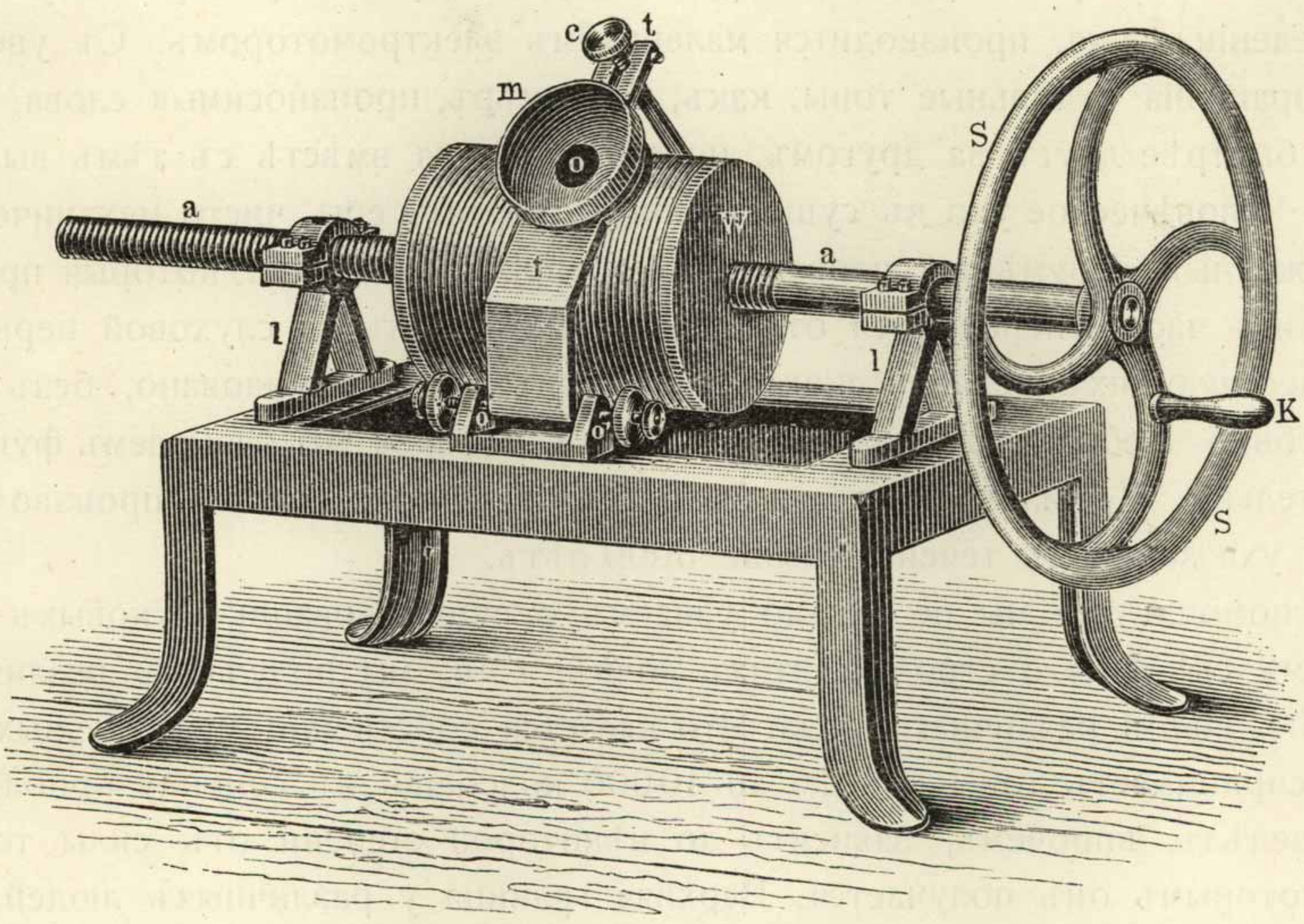
374. Въ то время какъ гласные звуки можно представлять въ формѣ волны, производимой голосовыми связками, съ завитками на ней, обусловленными формою полости рта,—согласныя представляются, вообще говоря, одной или нѣсколькими неправильными волнами, предшествующими или заканчивающими волнообразную линію гласныхъ. Гласный звукъ можно тянуть въ теченіе продолжительнаго времени, согласный, напротивъ того, длится, вообще говоря, лишь одно мгновеніе. Чаще всего онъ обусловливается тѣмъ, какъ открывается ротъ передъ гласной или какъ онъ закрывается послѣ нея. Открывать полость рта можно различнымъ образомъ, напримѣръ, губами (*б, п, м*) или нижней губой и верхними передними зубами (*ф, в*), или концомъ языка и тѣми же зубами (*м, д*) или языкомъ и передней или задней частью нёба (*н, л, г*). Иногда при этомъ имѣютъ значеніе и другія обстоятельства. Такъ, *м* и *н* требуютъ также резонанса въ носовой полости, сообщающейся сзади съ полостью рта. Этотъ резонансъ можно тянуть болѣе продолжительное время, какъ гласную. То же относится и къ нѣкоторымъ другимъ звукамъ, которые у насъ обыкновенно называются согласными, но въ другихъ языкахъ, какъ, напримѣръ, въ санскритскомъ, считаются свистящими гласными (*с*). Совершенно особое мѣсто занимаетъ звукъ *р*. Онъ не на-

http://mathesis.ru

чинаетъ и не заканчиваетъ собой волны гласнаго звука, а служитъ какъ бы для разрыва гласной. Языкъ вибрируетъ у нёба и каждый разъ, когда онъ удаляется отъ нёба, становится возможнымъ образованіе части гласной.

375. Подражать человѣческому голосу можно также при помощи органныхъ трубокъ. Прежнія говорящія машины состояли главнымъ образомъ изъ извѣстнаго числа такихъ трубокъ, подобранныхъ такимъ же образомъ, какъ камертоны въ приборѣ Гельмгольца. Воздухъ вдувался въ эти трубки, какъ въ органѣ, при помощи мѣховъ, причемъ онъ направлялся въ ту или другую трубку при посредствѣ особой клавіатуры. Струя воздуха выходила черезъ отверстія, снабженныя кожаными клапанами и другими приспособленіями. Звукъ *p* воспроизводился при помощи колесика, которое жужжало въ искусственной ротовой полости и раздѣляло на части рядъ волнъ, образуемыхъ гласной. Этотъ способъ подражанія человѣческому голосу представлялъ интересъ въ томъ отношеніи, что онъ давалъ наглядное доказательство правильности пониманія природы рѣчи. Получаемые при помощи указанныхъ пріемовъ звуки рѣчи были, однако, очень несовершенны, а именно, чрезвычайно монотонны.

Рис. 350



Фонографъ Эдисона.

Въ нихъ совершенно отсутствовали варіаціи основного тона, всегда присущія человѣческой рѣчи и проявляющіяся тѣмъ сильнѣе, чѣмъ больше душевное настроеніе вліяетъ на рѣчь.

376. Совершенно другого рода говорящую машину представляетъ собой фонографъ, изобрѣтенный Эдисономъ въ 1877 г. Онъ воспринимаетъ человѣческій голосъ, музыку и другіе звуки и затѣмъ снова воспроизводитъ ихъ, когда угодно.

Рис. 350 изображаетъ фонографъ въ его первоначальной формѣ. Звуки даются въ него черезъ отверстіе *o* въ короткую трубу, закрытую на другомъ концѣ тонкой упругой пластинкой. Въ срединѣ ея находится маленькій металлическій штифтъ, направленный остріемъ къ стальному валику *W* съ спиральнымъ желобкомъ. Валикъ покрывается

http://mathesis.ru

листомъ оловянной фольги. Пріемникъ *m* долженъ быть установленъ такъ, чтобы штифтъ надъ желобкомъ слабо давилъ на оловянный листъ. Вращаясь, валикъ подвигается вмѣстѣ съ тѣмъ по направленію оси такъ, что металлическій штифтъ все время остается надъ желобкомъ. Если во время вращенія говорить въ отверстіе *m*, то упругая пластинка приходитъ въ колебательное движеніе и металлическій штифтъ производитъ на оловѣ соотвѣтствующія углубленія. Затѣмъ пріемникъ *m* удаляютъ и валикъ приводятъ въ первоначальное положеніе. Если помѣстить пріемникъ *m* на прежнее мѣсто и привести во вращеніе валикъ, то штифтъ снова попадаетъ въ углубленія оловяннаго листа, вслѣдствіе чего упругая пластинка повторяетъ прежнія колебанія, которыя во время перваго движенія были вызваны звуковыми волнами. Поэтому въ воздухѣ возникаютъ тѣ же волны, т. е. колеблющаяся пластинка воспроизводитъ звуки, послужившіе причиной ея первоначальныхъ колебаній.

Эдисонъ впослѣдствіи значительно усовершенствовалъ свой фонографъ. Листъ оловянной фольги воспринимаетъ и воспроизводитъ лишь самыя грубыя составныя части звука. Звуковыя движенія гораздо лучше воспринимаются и повторяются валикомъ изъ твердаго воска. Вращеніе, которое должно быть, разумѣется, чрезвычайно равномѣрнымъ и которое должно происходить одинаково быстро при полученіи и при воспроизведеніи звука, производится маленькимъ электромоторомъ. Съ увеличеніемъ скорости вращенія отдѣльные тоны, какъ, напримѣръ, произносимыя слова, не только слѣдуютъ быстрѣе другъ за другомъ, но и становятся вмѣстѣ съ тѣмъ выше.

377. Человѣческое ухо въ существенныхъ чертахъ есть чисто механическій аппаратъ, снабженный, разумѣется, нервами для воспріятія движеній, которыя при помощи механическихъ частей передаются отъ воздушныхъ волнъ на слуховой нервъ. Но изъ всѣхъ существующихъ механическихъ аппаратовъ ухо организовано, безъ сомнѣнія, наиболѣе тонко. Небольшого количества энергіи, которое мы называемъ фунтофутомъ (приблизительно $^1/_6$ килограмметра), было бы достаточно, чтобы производить ощутимые для уха звуки въ теченіе свыше 3000 лѣтъ.

При помощи уха мы не только узнаемъ о существованіи звуковыхъ волнъ, но и получаемъ свѣдѣнія о строеніи этихъ волнъ, т. е. мы получаемъ различныя впечатлѣнія отъ волнъ различнаго рода. Что касается собственно музыкальныхъ тоновъ, то ухо воспринимаетъ тоны отъ 16 до 40000 колебаній въ секунду приблизительно. Нижній предѣлъ, впрочемъ, зависитъ до нѣкоторой степени отъ силы тона и отъ способа, которымъ онъ получается. Верхняя граница у различныхъ людей различна. Всѣ тоны въ этихъ предѣлахъ различаются легко и только вблизи верхняго предѣла тоны различаются не съ такой увѣренностью. Въ музыкѣ пользуются вообще только тонами съ колебаніями отъ 40 до 4000, т. е. приблизительно семью октавами.

Ухо въ состояніи также различать форму отдѣльныхъ волнъ, т. е. тембръ или оттѣнокъ различныхъ тоновъ. Больше того—ухо способно воспринимать одновременно цѣлый рядъ волнъ и разлагать комплексъ этихъ волнъ на отдѣльныя составныя части.

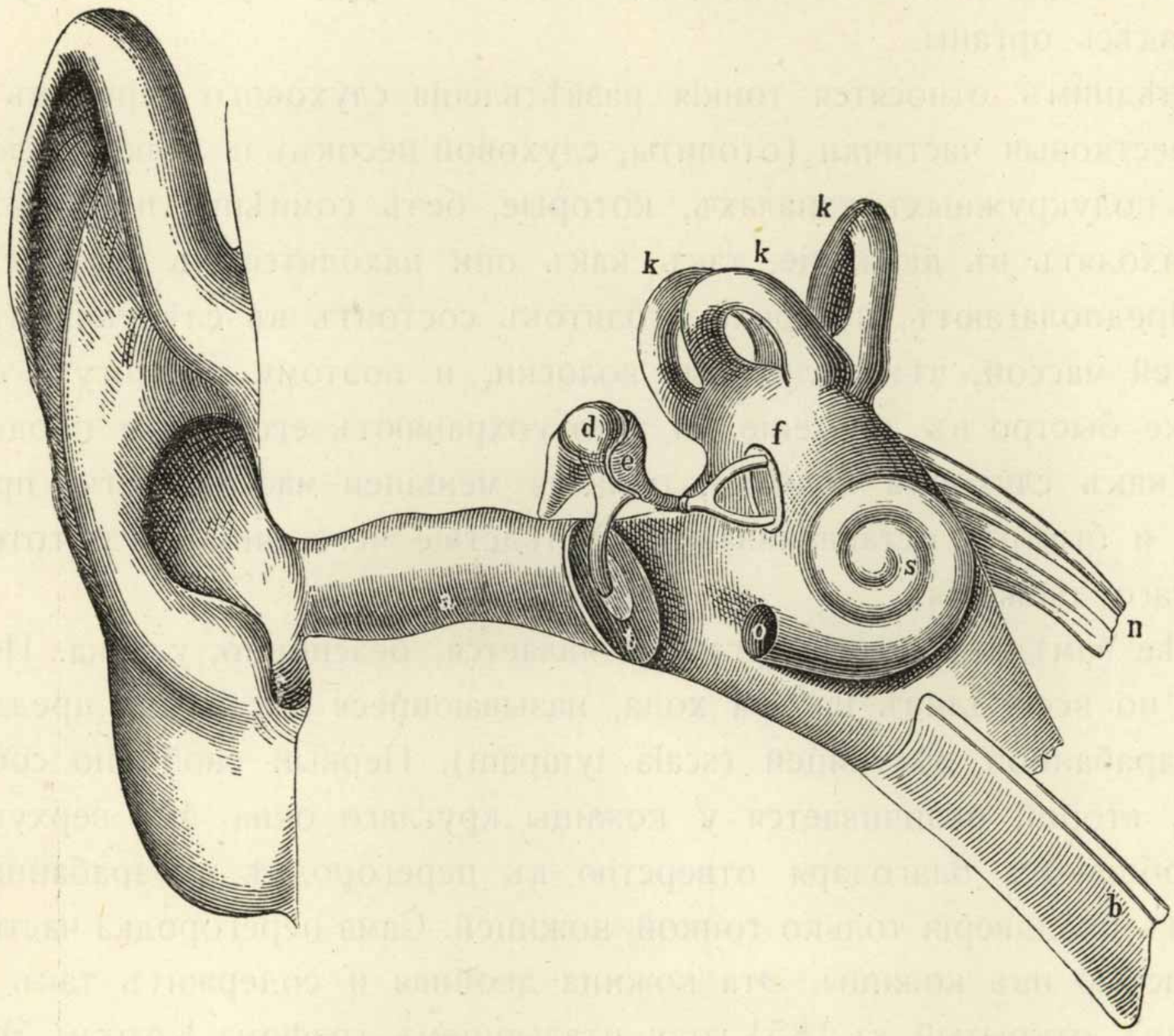
Этотъ удивительный механическій инструментъ послужилъ, разумѣется, предметомъ тщательнаго изслѣдованія анатомовъ и физиковъ. Изъ результатовъ этого изученія отмѣтимъ важнѣйшіе. Ушная раковина собираетъ звуковыя волны, которыя черезъ слуховой проходъ *a* доходятъ до барабанной перепонки (рис. 351, *t*). Барабанная перепонка отдѣляетъ наружное ухо отъ барабанной полости, также наполненной воздухомъ; въ ней находятся три маленькія косточки: молоточекъ, наковальня и

http://matheis.ru

стремя. При помощи Евстахіевой трубы барабанная полость сообщается съ глоткой. Эти трубы впервые были описаны итальянскимъ врачемъ и анатомомъ Бартоломео Евстахіемъ (ум. въ 1574 г.). Евстахіева труба при глотаніи или зѣваніи открывается и способствуетъ тому, что воздухъ барабанной полости всегда находится подъ тѣмъ же давленіемъ, что и внѣшній воздухъ. Это необходимо, потому что иначе каждое измѣненіе внѣшняго давленія влекло бы за собой напряженіе барабанной перепонки. Внезапное измѣненіе давленія воздуха вызываетъ шумъ въ ушахъ, который, однако, исчезаетъ, если проглотить немного слюны.

Три упомянутыя косточки представляютъ соединеніе между барабанной перепонкой и кожицей, закрывающей „овальное окно“, по отношенію къ которому стремя играетъ роль поршня. Такъ какъ внутреннее ухо, въ которое ведетъ овальное окно,

Рис. 351



Органъ слуха.

наполнено жидкостью, то давленіе въ этомъ мѣстѣ должно быть велико. Упомянутыя механическія соединительныя части устроены поэтому такимъ образомъ, что движеніе на протяженіи отъ барабанной перепонки до окна уменьшается до $^1/_{20}$ приблизительно, и сила, согласно началу возможныхъ перемѣщеній (§ 134), увеличивается въ соотвѣтственной степени. Кожица, закрывающая овальное окно, представляетъ по величинѣ $^1/_{15}$—$^1/_{20}$ барабанной перепонки. Своеобразная форма барабанной перепонки также играетъ существенную роль при этомъ преобразованіи движенія и давленія. Поверхность ея не совершенно плоская, но образуетъ по направленію внутрь воронкообразное углубленіе, ручка молоточка касается ея посрединѣ. Боковыя линіи этой воронки нѣсколько выгнуты наружу. Гельмгольцъ указываетъ, что звуковая волна можетъ значительно измѣнять кривизну этихъ боковыхъ линій, не смѣщая замѣтно

http://mathesis.ru

концовъ, подобно тому, какъ концы лука сближаются сравнительно лишь очень мало, если оттягивать тетиву отъ лука. Вслѣдствіе этого значительное движеніе звуковой волны переходитъ въ болѣе слабое въ мѣстѣ прикрѣпленія молоточка, а давленіе и натяженіе усиливаются въ той же степени.

Внутреннее ухо, которое должно воспринимать и различать эти слабыя движенія, конечно, должно быть хорошо защищено отъ вліянія постороннихъ сотрясеній. Поэтому оно окружено очень крѣпкими костями. Наполненное жидкостью пространство, лабиринтъ, состоитъ изъ трехъ отдѣленій: преддверія, дуговыхъ ходовъ или полукружныхъ каналовъ и улитки. Послѣдняя начинается затянутымъ кожицей отверстіемъ, называемымъ круглымъ окномъ (*o*). Еслибы этого окна не существовало, то стремя не могло бы привести въ колебаніе кожицу овальнаго окна, такъ какъ стѣнки лабиринта, за исключеніемъ обоихъ оконъ, состоятъ изъ костей. Звуковыя волны распространяются по жидкости отъ овальнаго окна къ круглому и дѣйствуютъ на расположенные здѣсь органы.

Къ послѣднимъ относятся тонкія развѣтвленія слухового нерва въ преддверіи, маленькія известковыя частички (отолиты, слуховой песокъ) и тонкіе волоски, расположенные въ полукружныхъ каналахъ, которые, безъ сомнѣнія, при извѣстныхъ колебаніяхъ приходятъ въ движеніе, такъ какъ они находятся въ связи съ нервными волокнами. Предполагаютъ, что роль отолитовъ состоитъ въ слѣдующемъ: они обладаютъ бóльшей массой, чѣмъ слуховые волоски, и поэтому не могутъ быть приведены столь же быстро въ движеніе, но зато сохраняютъ его болѣе продолжительное время, тогда какъ слуховыя волокна, обладая меньшей массой, легче приходятъ въ колебаніе, но и быстрѣе останавливаются, вслѣдствіе чего они всегда готовы къ воспринятію новаго движенія.

Наиболѣе замѣчательнымъ органомъ является, безспорно, улитка. Перегородкой она дѣлится по всей длинѣ на два хода, называющіеся лѣстницей преддверія (scala vestibuli) и барабанной лѣстницей (scala tympani). Первый свободно сообщается съ преддверіемъ, второй оканчивается у кожицы круглаго окна. На верхушкѣ улитки оба хода сообщаются благодаря отверстію въ перегородкѣ и барабанная лѣстница отдѣляется отъ преддверія только тонкой кожицей. Сама перегородка частью состоитъ изъ кости, частью изъ кожицы. Эта кожица двойная и содержитъ такъ называемый Кортіевъ органъ, открытый въ 1851 году итальянцемъ графомъ Корти. Этотъ органъ въ высшей степени напоминаетъ собою сложный струнный инструментъ. Состоитъ онъ изъ множества палочекъ, образующихъ попарно дугу; онѣ находятся въ связи съ волокнами и волосками, между которыми расположены нервныя развѣтвленія.

Предполагали, что Кортіевъ органъ представляетъ собою инструментъ, въ которомъ каждый отдѣльный тонъ, колебанія коего распространяются отъ овальнаго до круглаго окна черезъ улитку, приводитъ въ колебаніе звучащую одинаково съ нимъ струну такъ называемымъ симпатическимъ образомъ (§ 355). Это колебаніе достигаетъ сознанія при посредствѣ соотвѣтствующаго нерва. Если это предположеніе правильно, то легко понять, что каждый тонъ долженъ производить особое ощущеніе. Въ самомъ дѣлѣ, такъ какъ каждый тонъ дѣйствуетъ на соотвѣтствующую струну и проводится особымъ нервомъ, то образуется привычка относить ощущеніе къ тому нервному волокну, которое его принесло. Слуховой нервъ, какъ и нервы концовъ пальцевъ, несомнѣнно такъ же мало въ состояніи различать, раздражается ли онъ 300 или 400

http://mathesis.ru

колебаніями въ секунду. Но сознаніе легко отличаетъ, имѣетъ ли оно дѣло съ нервомъ для передачи 300 колебаній или съ нервомъ для 400, подобно тому, какъ оно отличаетъ раздраженіе указательнаго пальца отъ средняго.

Впрочемъ, строеніе и дѣйствіе Кортіева органа, несмотря на самыя тщательныя изслѣдованія, еще не вполнѣ выяснены и приведенная гипотеза является скорѣе предположеніемъ, чѣмъ дѣйствительнымъ объясненіемъ.

Но фактъ тотъ, что механизмъ уха способенъ исполнять свою удивительную задачу, и нѣтъ никакого сомнѣнія, что мы имѣемъ здѣсь дѣло съ инструментомъ, по тонкости строенія не имѣющимъ себѣ равнаго во всемъ мірѣ. Но для механизма нѣтъ и болѣе высокой задачи, какъ служить орудіемъ воспринятія явленій духовнаго міра.

---

http://mathesis.ru

http://mathesis.ru

Природа свѣта

http://mathesis.ru

http://mathesis.ru

Цвѣта

378. Уже Аристотелю было извѣстно (ср. § 108), что нельзя видѣть предметъ, помѣстивъ его очень близко передъ самымъ глазомъ. Онъ замѣтилъ также, что одинъ и тотъ же предметъ кажется окрашеннымъ различнымъ образомъ въ зависимости отъ среды, черезъ которую свѣтъ проходитъ на пути отъ предмета къ глазу. Такъ, солнце сквозь туманъ кажется краснымъ, между тѣмъ какъ въ ясную погоду оно свѣтитъ бѣлымъ свѣтомъ. Эта разница въ окраскѣ солнца происходитъ, по мнѣнію Аристотеля, отъ того, что въ туманѣ свѣтъ солнца смѣшивается съ „темнотой“, а красный цвѣтъ не что иное, какъ смѣсь извѣстнаго количества свѣта съ опредѣленнымъ количествомъ „темноты“. Если свѣтъ смѣшивается съ темнотой въ другомъ отношеніи, то возникаютъ другіе цвѣта, которые, по Аристотелю, можно наблюдать въ радугѣ, представляющей отраженіе солнца въ темныхъ облакахъ. Итакъ, цвѣта, согласно этому взгляду, представляютъ смѣсь свѣта съ бо̀льшимъ или меньшимъ количествомъ темноты.—Эти разсужденія Аристотеля служатъ прекраснымъ примѣромъ того, какъ опасно строить теоріи на единичныхъ наблюденіяхъ. Красный цвѣтъ солнца несомнѣнно обусловливается туманомъ, но онъ вовсе не происходитъ отъ примѣси темноты,—скорѣе, наоборотъ, причиной его является поглощеніе свѣта туманомъ. Аристотелевская теорія цвѣтовъ, какъ и многіе другіе его взгляды, считалась, однако, справедливой въ продолженіе всѣхъ среднихъ вѣковъ.

379. Такъ какъ грекамъ было извѣстно (§ 94) зажигательное стекло, то можно съ увѣренностью утверждать, что они также знали, что радужные цвѣта получаются при преломленіи свѣта въ зажигательномъ стеклѣ. Сенека (2—66 по Р. Х.) въ своемъ большомъ сочиненіи по естествознанію (Quaestiones naturales) упоминаетъ о томъ, что предметы, разсматриваемые черезъ граненое стекло, имѣютъ окрашенные края, въ которыхъ цвѣта радуги (красный, желтый, зеленый, синій, фіолетовый) слѣдуютъ другъ за другомъ въ обычной послѣдовательности. Сенека назвалъ эти цвѣта „не настоящими“ въ противоположность дѣйствительнымъ цвѣтамъ радуги. Впослѣдствіи ихъ назвали „apparente“, т. е. кажущимися цвѣтами, теперь ихъ называютъ также призматическими цвѣтами, такъ какъ они получаются обыкновенно при помощи стеклянной призмы.

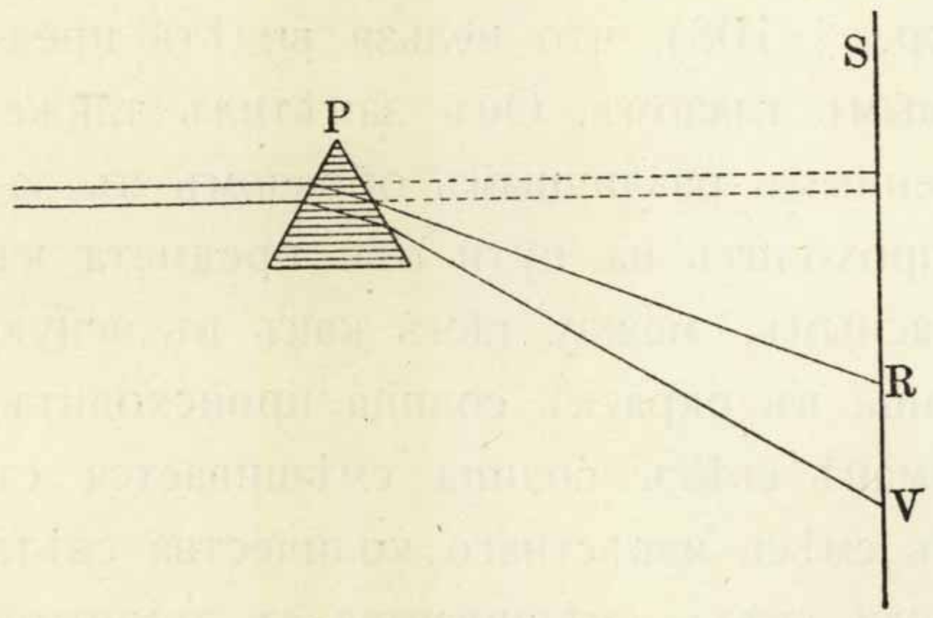
Лишь въ серединѣ XVII вѣка эти призматическіе цвѣта были подробнѣе изслѣдованы Маркомъ Марци (1595—1667), профессоромъ медицины въ Прагѣ. На рис. 352 изображенъ выполненный имъ опытъ. Онъ пропустилъ на стеклянную призму P пучокъ солнечныхъ лучей, которые преломились въ призмѣ и по выходѣ изъ нея были приняты на бѣлый экранъ S; на послѣднемъ они дали цвѣтное изображеніе, значительно большее того, которое ожидалъ увидѣть Марци. А именно, параллельные

http://mathesis.ru

лучи свѣта не только были отклонены призмой, но и разсѣивались, образуя такимъ образомъ на экранѣ цвѣтную полосу *R V*.

Въ этомъ изображеніи на экранѣ цвѣта были расположены въ обычномъ порядкѣ радуги. Вверху, т. е. ближе всего къ первоначальному направленію пучка лучей, изображеніе было краснаго цвѣта, ниже желтаго, зеленаго, синяго, а на нижнемъ концѣ, наиболѣе удаленномъ отъ первоначальнаго направленія лучей,—фіолетоваго. Въ своемъ сочиненіи, относящемся къ 1648 г., Марци очень опредѣленно высказывается по поводу этого факта, утверждая, что лучи свѣта, неодинаково сильно преломляющіеся, даютъ различные цвѣта. Наименѣе преломляющіеся лучи кажутся красными, наиболѣе преломляющіеся—фіолетовыми. Тому же изслѣдователю мы обязаны еще однимъ важнымъ наблюденіемъ. Онъ отмѣчаетъ, что свѣтъ, однажды преломившійся, при вторичномъ преломленіи сохраняетъ свою окраску. Происхожденіе цвѣтовъ Марци объяснялъ неправильнымъ допущеніемъ, будто различная степень преломленія вызываетъ различное сгущеніе (конденсацію) свѣта.

Рис. 352



Опытъ М. Марци.

380. Много вниманія удѣляли „кажущимся“ цвѣтамъ въ XVII вѣкѣ. Поводомъ къ этому служило то непріятное обстоятельство, что предметы, разсматриваемые черезъ недавно изобрѣтенную тогда зрительную трубу, казались окруженными цвѣтной каймой. Различные ученые, какъ, напримѣръ, Декартъ и Робертъ Гукъ, пытались объяснить происхожденіе этихъ цвѣтовъ, но безуспѣшно. Лишь Ньютону удалось сдѣлать это. Въ 1666 г. онъ началъ рядъ изслѣдованій, которыя привели къ простому объясненію природы цвѣтовъ.

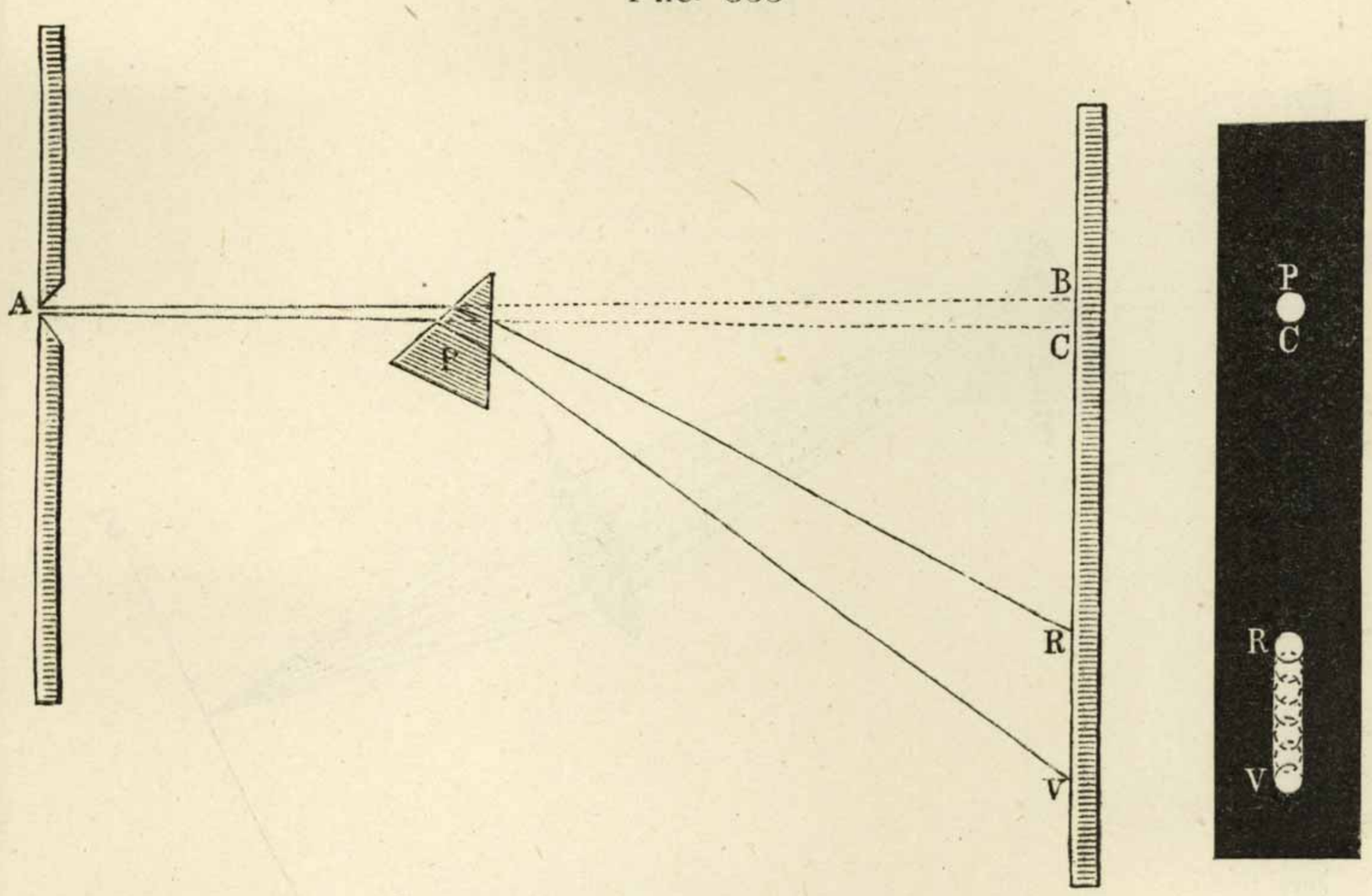
Онъ производилъ свои опыты въ темной комнатѣ. Черезъ отверстіе *A* въ ставнѣ (рис. 353) въ $^1/_4$ дюйма въ поперечникѣ онъ пропускалъ пучокъ солнечныхъ лучей въ темную комнату. На противоположной стѣнѣ, на разстояніи 22 дюймовъ получалось бѣлое солнечное изображеніе *BC*. Затѣмъ онъ ставилъ на пути лучей призму *P*. Если преломляющее ребро призмы было направлено вверхъ, то лучи отклонялись внизъ и получалась цвѣтная полоса такой же ширины, какъ и солнечное пятно, но въ пять разъ длиннѣе. Въ этомъ удлиненномъ изображеніи, которое Ньютонъ назвалъ спектромъ, онъ, подобно Марци, нашелъ главные цвѣта радуги: красный, желтый, зеленый, синій и фіолетовый со всѣми промежуточными оттѣнками.—Прежде всего онъ убѣдился, что нельзя искать объясненія происхожденія цвѣтовъ въ неодинаковой длинѣ пути, проходимаго въ призмѣ различными лучами,—предположеніе, высказанное ранѣе Кеплеромъ. Ньютонъ придавалъ призмѣ различныя положенія и давалъ отверстію *A* различныя формы, но въ цвѣтахъ спектра не наблюдалось никакого измѣненія.

Далѣе Ньютонъ старался рѣшить, не служитъ ли причиной окрашиванія неоднородность стекла призмы, и пробовалъ помѣшать образованію спектра, заставляя лучи, разсѣянные призмой, проходить черезъ вторую призму, расположенную обратно первой (рис. 354). Къ своему удивленію онъ замѣтилъ, что теперь на стѣнѣ появи-

http://mathesis.ru

лось бѣлое круглое изображеніе солнца. Этотъ опытъ показалъ, что призма нисколько не мѣшала ходу лучей, но опредѣленнымъ образомъ вліяла на него: вторичное преломленіе (въ противоположномъ направленіи) вновь приводитъ къ первоначальному положенію, т. е. снова даетъ бѣлый свѣтъ. Изъ того обстоятельства, что свѣтъ, послѣ одного преломленія окрашенный, послѣ вторичнаго преломленія

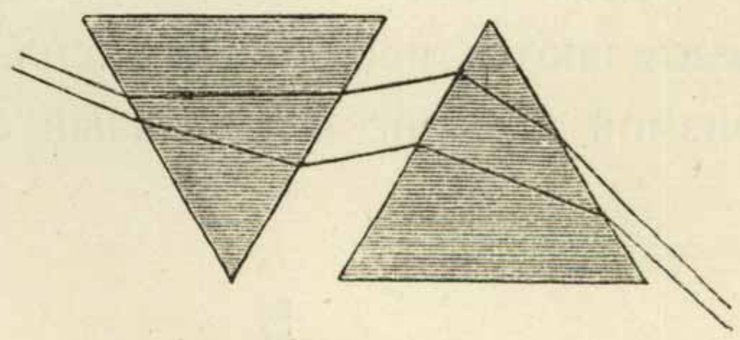
Рис. 353



Спектръ Ньютона

снова становится бѣлымъ, Ньютонъ сдѣлалъ важный выводъ, что первоначальный бѣлый свѣтъ уже до вступленія въ первую призму представляетъ смѣшеніе цвѣтныхъ лучей, которые разсѣиваются потому, что отклоняются призмой въ различной степени. Если затѣмъ во второй призмѣ (рис. 354) они въ такой же мѣрѣ преломляются въ обратномъ направленіи, то различные цвѣта вновь сливаются и снова даютъ бѣлый свѣтъ.

Рис. 354



Противоположное дѣйствіе двухъ призмъ.

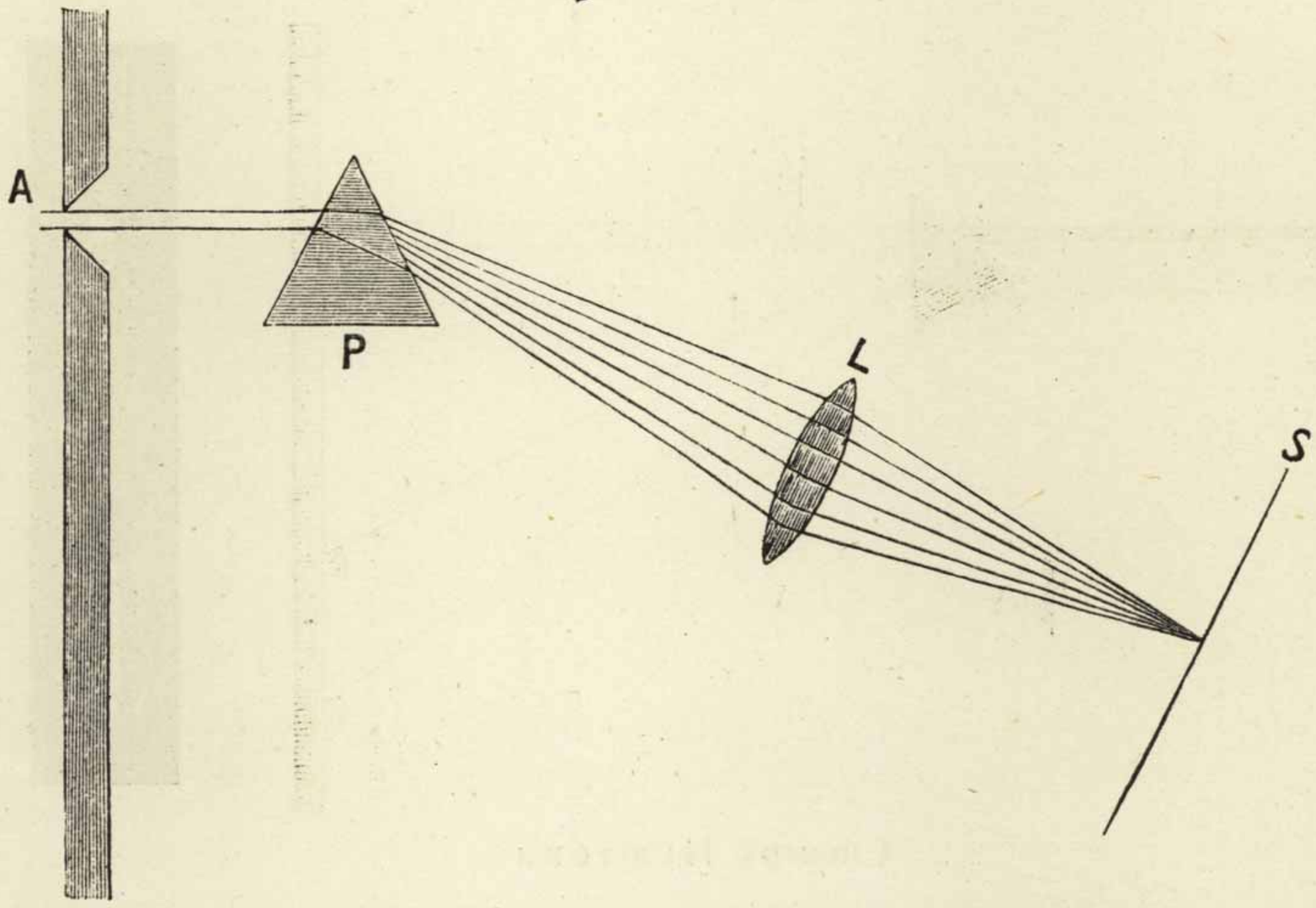
Съ цѣлью подробнѣе изслѣдовать этотъ вопросъ Ньютонъ произвелъ рядъ опытовъ. Онъ заставилъ, напримѣръ, свѣтъ, разсѣянный призмой, падать на собирательное стекло (рис. 355). Цвѣтные лучи, собранные чечевицей, дали на экранѣ бѣлое (неокрашенное) пятно свѣта.

Такимъ образомъ Ньютонъ нашелъ, что бѣлый солнечный свѣтъ содержитъ лучи различныхъ цвѣтовъ и что каждый изъ этихъ лучей имѣетъ свой опредѣленный показатель преломленія. Красные лучи преломляются слабѣе, а фіолетовые—сильнѣе остальныхъ. Но если бѣлый солнечный лучъ проходитъ черезъ призму, то цвѣта отдѣляются другъ отъ друга и эти разсѣянные лучи даютъ на экранѣ спектръ. Бѣлый цвѣтъ есть, слѣдовательно, смѣсь всевозможныхъ цвѣтовъ.— Это можно хорошо показать слѣдующимъ образомъ. Черезъ A (рис. 353) свѣтовой лучъ падаетъ на призму P, которая разсѣиваетъ лучъ такъ, что образуется спектръ RV. При вращеніи призмы вокругъ оси, параллельной преломляющему ребру, спектръ движется по стѣнѣ вверхъ и внизъ; если вращать

http://mathesis.ru

призму очень быстро, то одно и то же мѣсто экрана будетъ окрашиваться различными цвѣтами, очень быстро слѣдующими одинъ за другимъ. Если смотрѣть на это мѣсто, то изъ него въ глазъ будутъ попадать лучи различныхъ цвѣтовъ; эти цвѣтовыя впечатлѣнія будутъ слѣдовать одно за другимъ такъ быстро, что одно не успѣетъ исчезнуть, какъ появится новое. И такъ какъ свѣтовое впечатлѣніе зритель-

Рис. 355

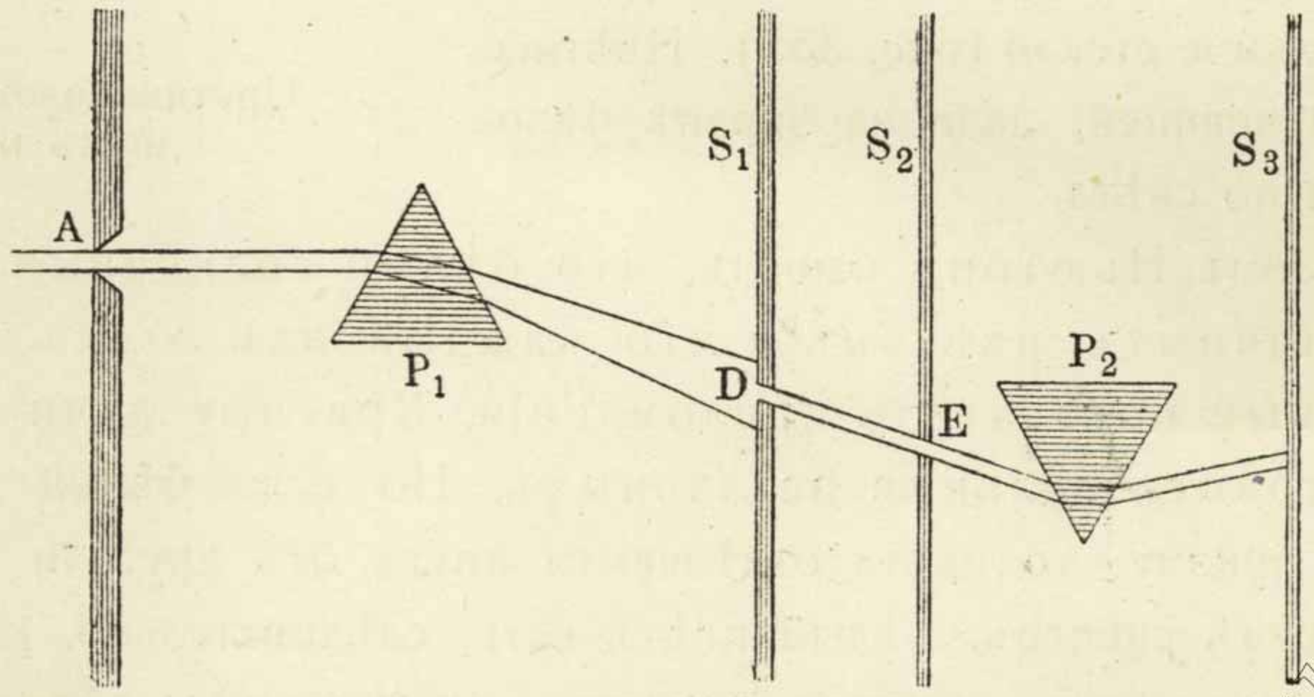


Соединеніе цвѣтныхъ лучей въ бѣлый свѣтъ.

наго нерва сохраняется въ теченіе нѣкотораго промежутка времени (ср. § 111), то всѣ эти различныя цвѣтовыя ощущенія сольются въ одно, а именно, въ ощущеніе бѣлаго свѣта.

381. Очень важно было убѣдиться въ томъ, что лучи различныхъ цвѣтовъ преломляются неодинаково сильно. Ньютонъ доказалъ это слѣдующимъ опытомъ. Призмой P_1 (рис. 356) бѣлый солнечный свѣтъ разсѣивается, такъ что на экранѣ S_1

Рис. 356



Experimentum crucis (рѣшающій опытъ).

получается спектръ. Черезъ узкое отверстіе D въ этомъ экранѣ можетъ пройти дальше только одинъ цвѣтной лучъ, который попадаетъ на экранъ S_2, снабженный, подобно

http://mathesis.ru

первому, отверстіемъ E. Пройдя сквозь это отверстіе, лучъ попадаетъ на призму P_2 и послѣ прохожденія сквозь нее падаетъ на третій экранъ S_3. Свѣтовой лучъ, падающій на призму P_2, сохраняетъ направленіе DE при всевозможныхъ условіяхъ.— Вращая первую призму P_1, Ньютонъ могъ заставить пройти черезъ отверстіе D и попасть на призму P_2 любой изъ цвѣтныхъ лучей; при этомъ онъ замѣтилъ, что пятно свѣта на послѣднемъ экранѣ занимало наивысшее положеніе, если оно было фіолетовымъ, и самое нижнее, если было краснымъ. Это доказываетъ, что при прохожденіи черезъ призму P_2 красные лучи преломляются меньше, а фіолетовые больше всего.

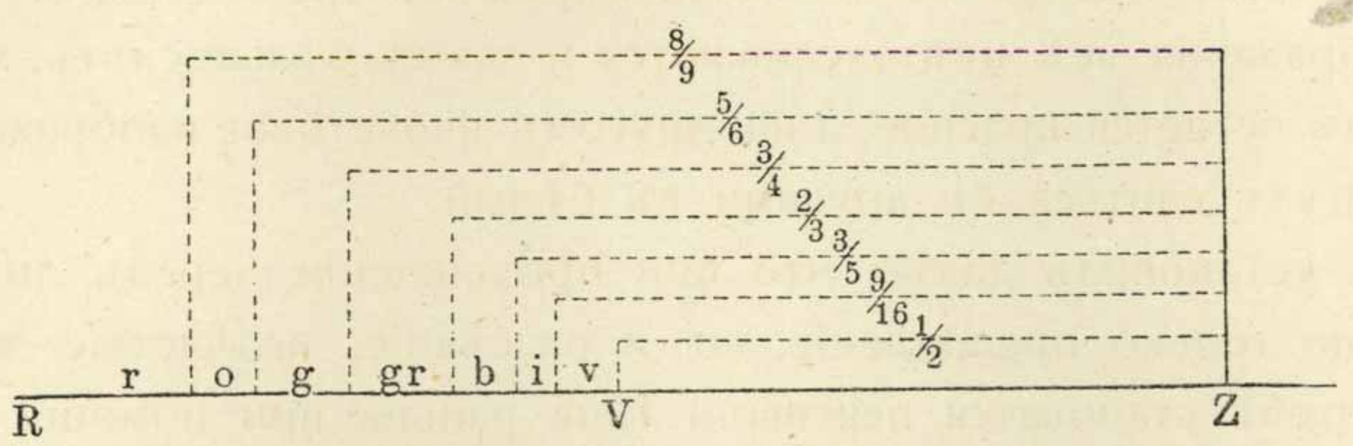
Изъ этого опыта непосредственно слѣдовало также, что простой (монохроматическій) свѣтъ послѣ преломленія уже не разлагается на новые цвѣта. Узкій пучокъ лучей DE не разсѣивался призмой и лучи по выходѣ изъ нея были параллельными.

Ньютонъ придавалъ этому опыту и двумъ указаннымъ его слѣдствіямъ большое значеніе и назвалъ его experimentum crucis. Слово крестъ (crux) напоминаетъ крестъ на перекресткѣ, указывающій дорогу. Ньютонъ хотѣлъ этимъ выразить мысль, что этотъ опытъ указываетъ правильный путь къ пониманію происхожденія призматическихъ цвѣтовъ.

382. Каждый цвѣтной лучъ даетъ свое особое изображеніе солнца и два цвѣтныхъ луча, лежащихъ рядомъ, даютъ два изображенія солнца, расположенныя въ спектрѣ почти на одномъ и томъ же мѣстѣ и поэтому отчасти налагающіяся другъ на друга. Въ такомъ спектрѣ цвѣта, слѣдовательно, не чисты.

Какъ разобраться въ спектрѣ? Нашъ глазъ не въ состояніи замѣтить слабые оттѣнки въ цвѣтахъ. Ньютонъ предложилъ различать въ спектрѣ семь главныхъ цвѣтовъ: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синій, фіолетовый. Границы между отдѣльными цвѣтами онъ опредѣлилъ слѣдующимъ образомъ. Пусть RV будетъ длина всего спектра (рис. 357); на той же прямой отложимъ отрѣзокъ VZ, равный RV, и примемъ длину RZ за 1. Тогда разстояніе отъ Z до фіолетоваго цвѣта равно половинѣ. Разстояніе отъ Z до синяго цвѣта Ньютонъ положилъ равнымъ $^9/_{16}$, до

Рис. 357



Ньютоново раздѣленіе спектра.

голубого $^3/_5$, до зеленаго, желтаго, оранжеваго и краснаго соотвѣтственно $^2/_3$, $^3/_4$, $^5/_6$ и $^8/_9$ и до конца краснаго, слѣдовательно, равнымъ 1. Какъ легко видѣть, эти числа представляютъ длины струнъ, тоны которыхъ образуютъ минорную гамму:

$$^1/_2 : ^9/_{16} : ^3/_5 : ^2/_3 : ^3/_4 : ^5/_6 : ^8/_9 : 1.$$

Это дало поводъ говорить о семи „оптическихъ“ тонахъ, и нѣкій П. Кастелли разработалъ даже планъ оптическаго музыкальнаго инструмента, оптическаго органа, который при помощи цвѣтовъ долженъ былъ производить на глазъ такое же пріятное

http://mathesis.ru

впечатлѣніе, какое аккордъ производитъ на ухо. Но этотъ планъ былъ основанъ на недоразумѣніи, такъ какъ раздѣленіе спектра было сдѣлано Ньютономъ совершенно произвольно. Это раздѣленіе должно было дать способъ фиксировать опредѣленныя точки въ спектрѣ. Въ настоящее время мы достигаемъ этого при помощи показателей преломленія различныхъ цвѣтовъ (ср. § 391).

Ньютонъ пользовался этимъ раздѣленіемъ также для того, чтобы опредѣлить, въ какомъ отношеніи необходимо смѣшать цвѣта для полученія бѣлаго цвѣта. Такого рода опытъ можно произвести слѣдующимъ образомъ. Круглая пластинка дѣлится на семь секторовъ, площади которыхъ пропорціональны ширинѣ семи главныхъ цвѣтовъ спектра; эти секторы раскрашиваются въ соотвѣтствующіе цвѣта. Если затѣмъ привести пластинку въ быстрое вращеніе, то глазъ получитъ впечатлѣнія всѣхъ цвѣтовъ въ одномъ мѣстѣ, и такъ какъ впечатлѣнія отдѣльныхъ секторовъ дѣйствуютъ на зрительный нервъ почти одновременно, то пластинка покажется намъ бѣлой. Такъ какъ, однако, наши краски не могутъ вполнѣ передать призматическіе цвѣта красками, то у насъ получится, конечно, не вполнѣ чистый бѣлый цвѣтъ.

Рис. 358



Цвѣтной кружокъ.

383. Легко объяснить, почему предметы сквозь призму кажутся намъ окаймленными цвѣтными краями. Ньютонъ пропускалъ свѣтъ черезъ щель на призму и полученный затѣмъ спектръ принималъ на экранъ. Ширина щели приблизительно равнялась ширинѣ призмы. Полученное изображеніе было по срединѣ бѣлымъ, но край его на одномъ концѣ былъ краснаго цвѣта, на другомъ фіолетоваго. Ньютонъ далъ правильное объясненіе также этому явленію. Именно, призма даетъ цѣлый рядъ цвѣтныхъ изображеній щели, которыя по срединѣ сливаются и даютъ бѣлый цвѣтъ. Каждая изъ полосокъ свѣта, на которыя можно мысленно раздѣлить щель по длинѣ, даетъ на экранѣ свой спектръ, причемъ каждый послѣдующій лежитъ немного выше (или ниже, смотря по положенію призмы) предыдущаго. Вслѣдствіе этого въ срединѣ изображенія всѣ цвѣта сливаются и даютъ бѣлый свѣтъ, между тѣмъ какъ на одномъ концѣ остается красное, а на другомъ фіолетовое изображеніе щели, цвѣта которыхъ не могутъ слиться съ другими въ бѣлый.

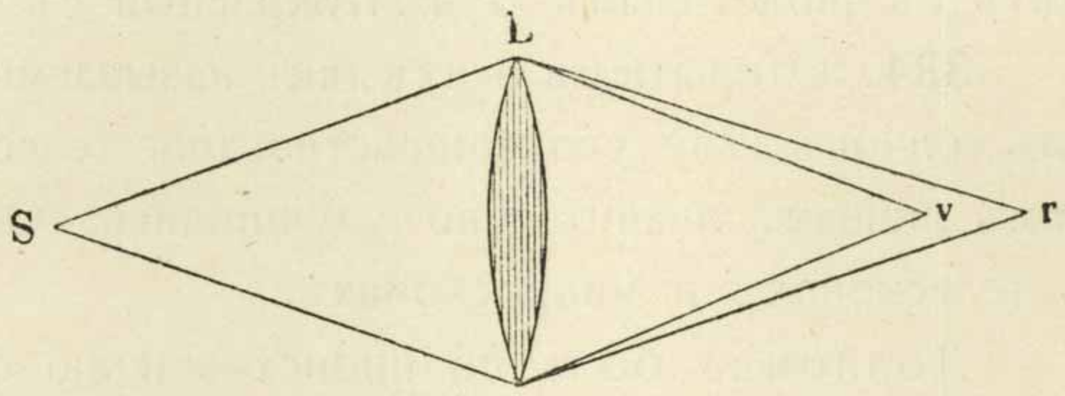
Ньютонъ установилъ далѣе, что при прохожденіи черезъ линзы свѣтъ испытываетъ также не только преломленіе, но и разсѣяніе, вслѣдствіе чего изображенія въ зрительной трубѣ становятся неясными. Еще раньше при помощи вычисленій было найдено, что линза должна ограничиваться не шаровыми поверхностями, если желательно имѣть отчетливыя изображенія. Но и тѣ линзы, которыя шлифовались согласно этимъ указаніямъ, давали неясныя изображенія съ мутноватой окраской. Дѣло въ томъ, что эти вычисленія были правильны только для лучей съ однимъ опредѣленнымъ показателемъ преломленія. Такимъ образомъ, эти линзы дали бы ясное и единственное изображеніе лишь въ томъ случаѣ, еслибы свѣтящееся тѣло испускало лишь одинъ родъ цвѣтныхъ лучей. Если же оно испускаетъ бѣлый свѣтъ, то линза даетъ нѣсколько изображеній. Если, напримѣръ, изъ точки S на линзу L падаетъ бѣлый свѣтъ (рис. 359), то изображеніе этой точки будетъ различное для лучей

http://mathesis.ru

различныхъ цвѣтовъ. Фіолетовые лучи, преломляющіеся наиболѣе сильно, собираются въ точкѣ *v*, красные, преломляющіеся наиболѣе слабо, — въ точкѣ *r*. Изображеніе точки *S* будетъ, слѣдовательно, линіей *v r*. Такимъ образомъ, линза не можетъ дать отчетливаго изображенія точки *S*, потому что лучи, исходящіе изъ одной точки, не собираются снова въ одной точкѣ.

Ньютонъ былъ того мнѣнія, что преломленіе и свѣторазсѣяніе неразрывно связаны другъ съ другомъ и что отношеніе между величиной преломленія и величиной разсѣянія всегда одно и то же независимо отъ преломляющей среды. Отсюда онъ вывелъ заключеніе, что устранить свѣторазсѣяніе нельзя, не устранивъ вмѣстѣ съ тѣмъ и преломленія, и что, слѣдовательно, при помощи линзы невозможно получать ясныя изображенія. Поэтому онъ рекомендовалъ зеркальные телескопы (ср. § 291).—Этотъ взглядъ Ньютона впослѣдствіи оказался ошибочнымъ. Вопросъ снова былъ поднятъ лишь въ 1747 г. Эйлеромъ (II, § 230), который написалъ статью объ усовершенствованіи объективовъ зрительныхъ трубъ.

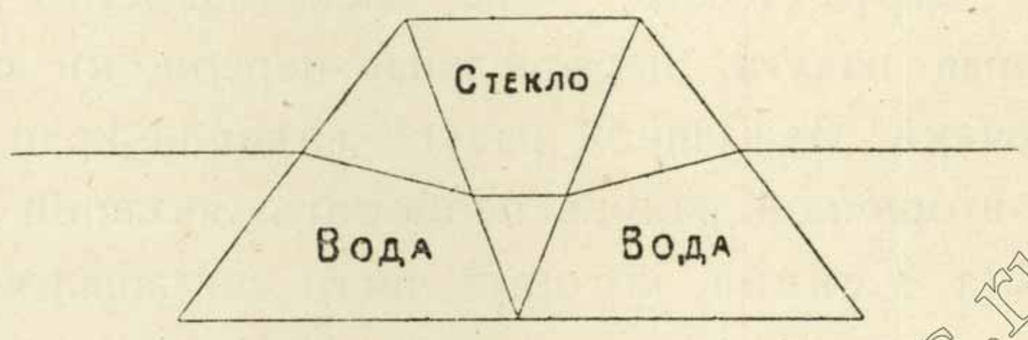
Рис. 359



Дѣйствіе простого собирательнаго стекла.

Конечно, Эйлеръ не могъ оспаривать правильности опытовъ Ньютона, изъ которыхъ вытекало, что призма, уничтожая разсѣяніе другой призмы, уничтожаетъ и ея преломленіе (ср. § 380). Но онъ указалъ на то, что глазъ даетъ неокрашенныя изображенія и что поэтому должно быть возможно получить системы стеколъ, не дающихъ окрашиванія (ахроматическія), путемъ сочетанія различныхъ линзъ. Семь лѣтъ спустя шведскому математику Самуилу Клингеншерне (1698—1765) также удалось доказать теоретически, что утвержденіе Ньютона, будто свѣторазсѣяніе можетъ быть устранено только вмѣстѣ съ преломленіемъ, ошибочно. Клингеншерне, наоборотъ, пришелъ къ выводу, что послѣ устраненія преломленія свѣторазсѣяніе часто сохраняется. Онъ послалъ свою статью въ Лондонъ оптику Джону Доллонду, который занимался опытами полученія ахроматическихъ стеколъ, на что его направила работа Эйлера. Доллондъ пропускалъ лучъ свѣта черезъ стеклянный сосудъ, наполненный водой, въ которомъ находилась стеклянная призма. Свѣтъ проходилъ, слѣдовательно, черезъ двѣ водяныя призмы и одну стеклянную (рис. 360). Доллондъ расположилъ опытъ такъ, что свѣтовой лучъ выходилъ изъ стекляннаго сосуда по тому же направленію, по которому онъ входилъ туда, и замѣтилъ, что въ этомъ случаѣ выходившій лучъ былъ окрашенъ. Здѣсь, слѣдовательно, преломленіе было устранено, а свѣторазсѣяніе не было. Тогда Доллондъ сталъ пытаться устранить свѣторазсѣяніе, сохраняя преломленіе; это ему удалось при помощи комбинаціи двухъ линзъ—одной изъ кронгласа, другой изъ флинтгласа. Флинтгласъ разсѣиваетъ свѣтъ сильнѣе, чѣмъ кронгласъ. Эта сложная линза Доллонда состояла изъ собирательной линзы изъ кронгласа и разсѣивающей линзы изъ флинтгласа. Собирательная

Рис. 360

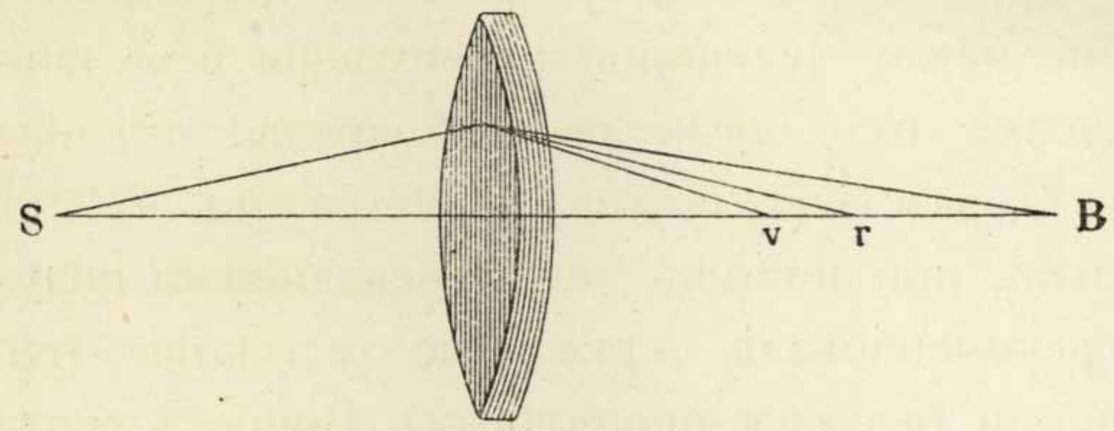


Опытъ Доллонда.

http://mathesis.ru

линза одна дала бы изображеніе свѣтящейся точки въ видѣ цвѣтной линіи rv (рис. 361), гдѣ r обозначаетъ точку, въ которой сходятся красные лучи, а v—фіолетовые. Но непосредственно за собирательной линзой изъ кронгласа находится разсѣивающая линза изъ флинтгласа. Она преломляетъ фіолетовые лучи сильнѣе, чѣмъ красные, такъ что два такихъ луча сходятся въ точкѣ B. Двойная линза дѣйствуетъ, слѣдовательно, подобно собирательному стеклу, но свѣторазсѣяніе, производимое одной линзой, уничтожается другой.

Рис. 361



Ахроматическая линза.

Эти двойныя линзы все же не абсолютно свободны отъ окрашиванія. На практикѣ онѣ, вообще говоря, устраиваются такъ, что соединяются не красный цвѣтъ съ фіолетовымъ, а желтокрасный съ зеленоголубымъ.

384. Открытіемъ этихъ такъ называемыхъ ахроматическихъ стеколъ Доллондъ далъ толчокъ дѣлу усовершенствованія телескопа, изображенія въ которомъ благодаря этимъ линзамъ значительно улучшились. Онѣ находятъ теперь широкое примѣненіе въ телескопахъ и микроскопахъ.

Доллондъ былъ по происхожденію французъ и родился въ 1706 г. Родители его вслѣдствіе отмѣны Нантскаго Эдикта эмигрировали въ Англію. Молодой Доллондъ рано лишился родителей и изучилъ тканье шелковыхъ матерій, но въ свободное время занимался различными науками, особенно оптикой и астрономіей. Своего сына Петра онъ отдалъ въ ученье къ оптику и въ 1752 г. основалъ вмѣстѣ съ нимъ мастерскую оптическихъ инструментовъ. Въ то же время онъ вступилъ въ сношенія съ Royal Society и самъ сталъ его членомъ, а также королевскимъ оптикомъ. Онъ умеръ въ 1761 г.

385. Ньютонова теорія происхожденія цвѣтовъ позволила дать болѣе правильное объясненіе явленію радуги. Аристотель (§ 378) объяснялъ радугу, какъ смѣшанное съ „темнотой“ изображеніе солнца въ облакахъ. Онъ зналъ также, каково должно быть положеніе радуги по отношенію къ солнцу. Радуга всегда находится напротивъ солнца, а центръ ея дуги лежитъ на продолженіи линіи, проведенной отъ солнца къ глазу наблюдателя. И такъ какъ радіусъ радуги всегда одинъ и тотъ же, то вообще радуга невозможна, когда солнце стоитъ на небѣ очень высоко. Чѣмъ ниже солнце, тѣмъ выше надъ горизонтомъ радуга.

Аристотелю было также извѣстно, что, кромѣ главной радуги, бываетъ иногда вторая радуга, параллельная первой, въ которой цвѣта расположены въ обратномъ порядкѣ. Въ главной радугѣ внѣшній край краснаго цвѣта, а внутренній фіолетоваго, во вторичной радугѣ наоборотъ: внѣшній край фіолетоваго, а внутренній краснаго цвѣта. Сенека, который часто соглашался съ взглядами Аристотеля, тоже считалъ радугу отраженіемъ солнца. Причину же того, что это изображеніе во много разъ больше самого солнца, онъ находилъ въ томъ, что въ водѣ все увеличивается.

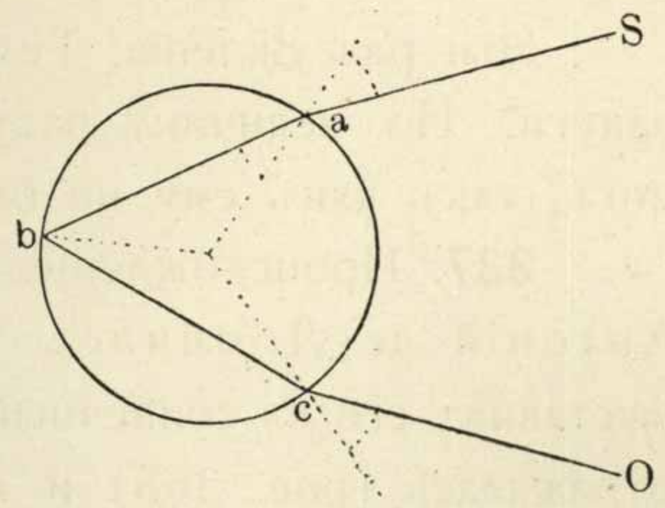
386. Эти разсужденія, однако, не даютъ дѣйствительнаго объясненія радуги. Радуга образуется не только потому, что свѣтъ отражается въ дождевыхъ капляхъ, но и потому, что онъ преломляется въ этихъ прозрачныхъ капляхъ. Это мнѣніе впервые было высказано Вителло, современникомъ Р. Бэкона, и затѣмъ развито

http://mathesis.ru

далѣе въ сочиненіи саксонскаго монаха Теодориха (Theodoricus de Saxonia), написанномъ въ 1311 г., но изданномъ Вентури лишь въ 1814 г. (Commentari sopra la storia e la teoria dell'ottica). Идеи Теодориха, такимъ образомъ, не оказали никакого вліянія на дальнѣйшее развитіе теоріи радуги, но заслуживаютъ, конечно, быть отмѣченными здѣсь.

Теодорихъ правильно и точно описываетъ путь свѣтового луча въ каплѣ воды. Лучъ свѣта, идя по направленію *Sa* (рис. 362), вступаетъ въ каплю по направленію *ab*, отражается въ точкѣ *b* (полное внутреннее отраженіе, § 107) и выходитъ по направленію *cO*. Глазъ, находящійся на прямой *cO*, получаетъ, слѣдовательно, свѣтъ, два раза преломленный и одинъ разъ отраженный.

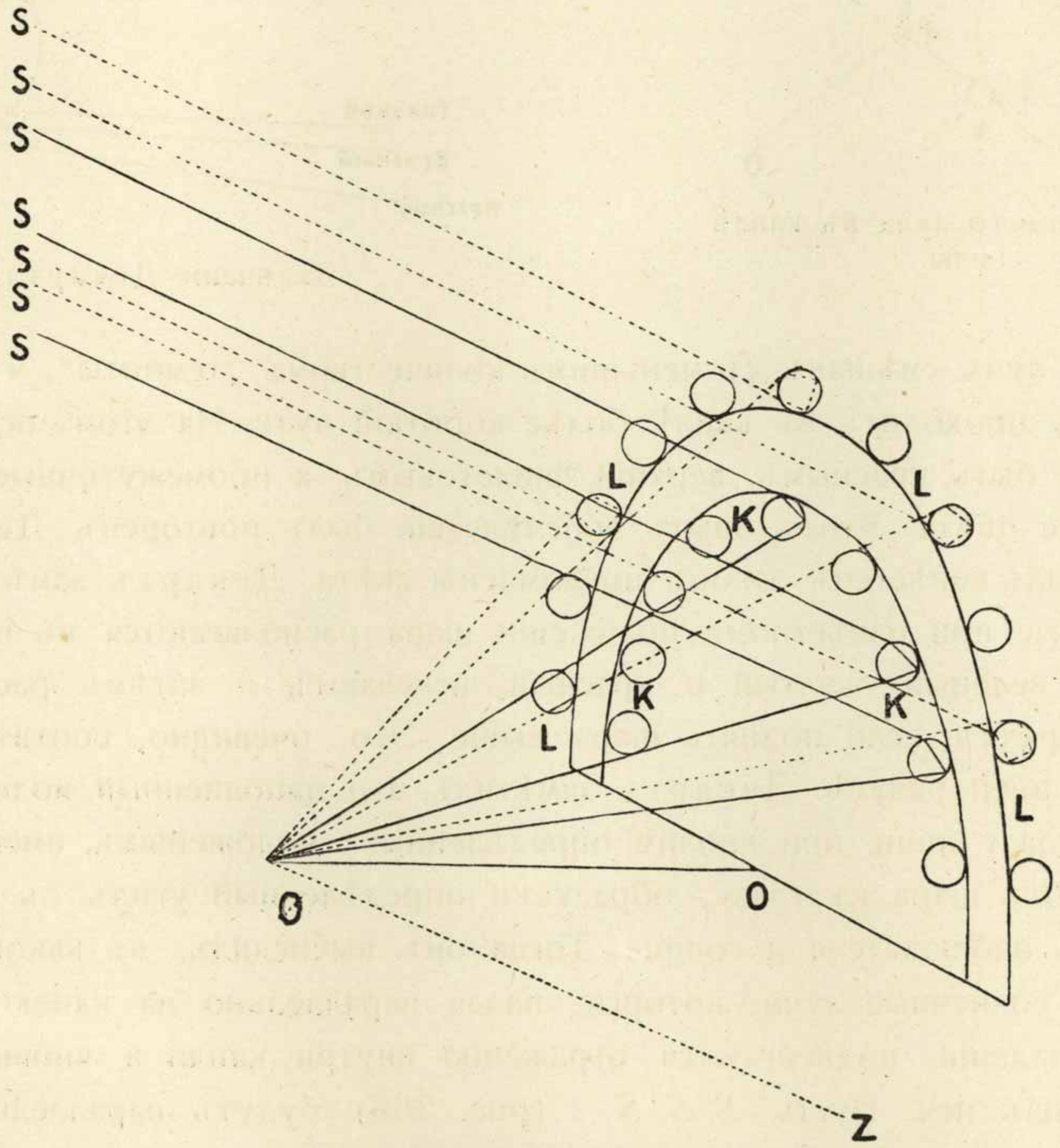
Рис. 362



Путь свѣтового луча въ каплѣ воды.

Лучи такого свѣта, подвергшагося двойному преломленію и одному отраженію, могутъ попасть въ глазъ въ *O* (рис. 363) отъ всѣхъ капель, расположенныхъ на окружности *KK*, центръ которой лежитъ на прямой, проведенной отъ солнца къ *O*. Въ самомъ дѣлѣ, всѣ эти капли по отношенію къ падающимъ лучамъ *SSS* и глазу *O* находятся въ одинаковомъ положеніи. Разъ въ глазъ *O* попадаетъ свѣтъ отъ одной изъ этихъ капель, то въ него

Рис. 363



Главная и вторичная радуга.

попадетъ и свѣтъ отъ всѣхъ остальныхъ,—дуга, образованная этими каплями, покажется поэтому свѣтящейся. Это и есть, говоритъ Теодорихъ, главная радуга.

http://mathesis.ru

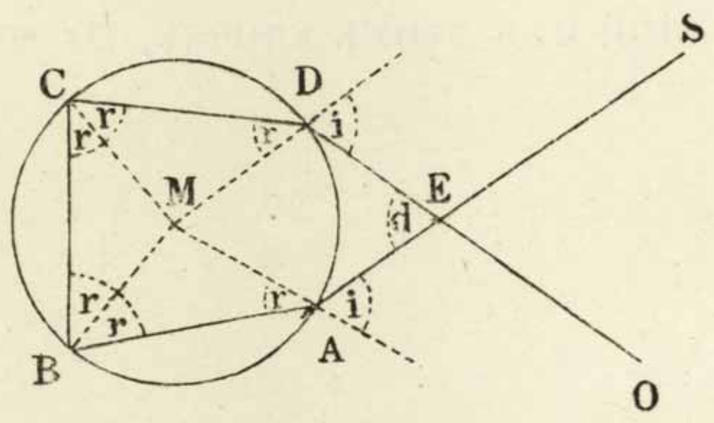
Но глазъ воспринимаетъ свѣтъ и отъ цѣлаго ряда водяныхъ капель (LL), лежащихъ на окружности внѣ главной радуги. Солнечный лучъ встрѣчаетъ каждую изъ этихъ капель въ A (рис. 364), преломляется по направленію къ B, отражается отсюда въ C, а отъ C въ D, откуда выходитъ по направленію DO.

Свѣтъ отъ капель LL (рис. 363) нѣсколько слабѣе, чѣмъ свѣтъ отъ капель KK, такъ какъ онъ отражается два раза, а при каждомъ отраженіи часть свѣта пропадаетъ, т. е. разсѣивается въ воздухъ. Вслѣдствіе этого дуга LL не такъ ярка, какъ дуга KK. Поэтому ее и называютъ вторичной радугой.

Эти разсужденія Теодориха даютъ въ существенномъ правильное объясненіе радуги. Но величину радуги и происхожденіе цвѣтовъ Теодорихъ объяснить не могъ, такъ какъ ему не былъ извѣстенъ законъ преломленія (ср. § 106).

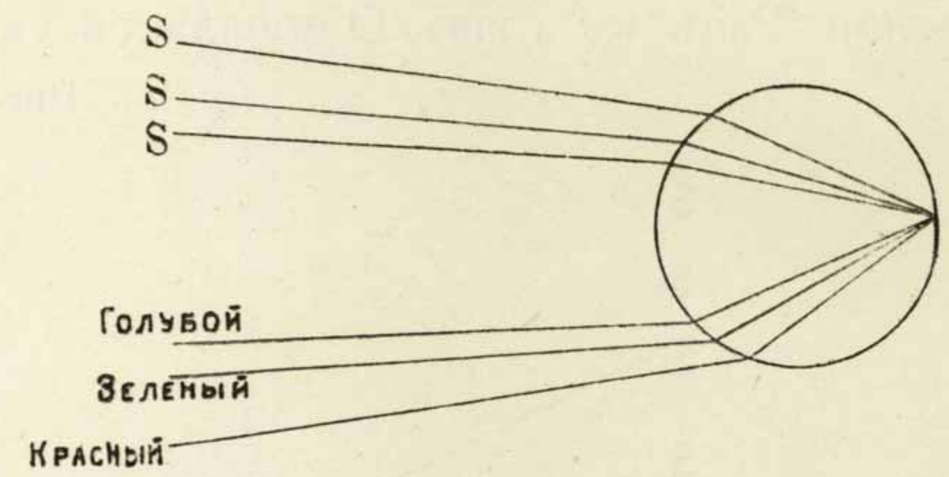
387. Происхожденіе цвѣтовъ радуги объяснилъ при помощи красиваго опыта Антоній де Доминисъ (1566—1624). Онъ наполнилъ стеклянный шаръ водой и выставилъ его на солнечный свѣтъ. Часть свѣта проходила черезъ шаръ, другая часть отражалась (рис. 365) и оказалось, что какъ прошедшіе лучи, такъ и отраженные были окрашены. Доминисъ объяснилъ происхожденіе цвѣтовъ предположеніемъ, что

Рис. 364



Путь свѣтового луча въ каплѣ воды.

Рис. 365



Замѣчаніе Декарта.

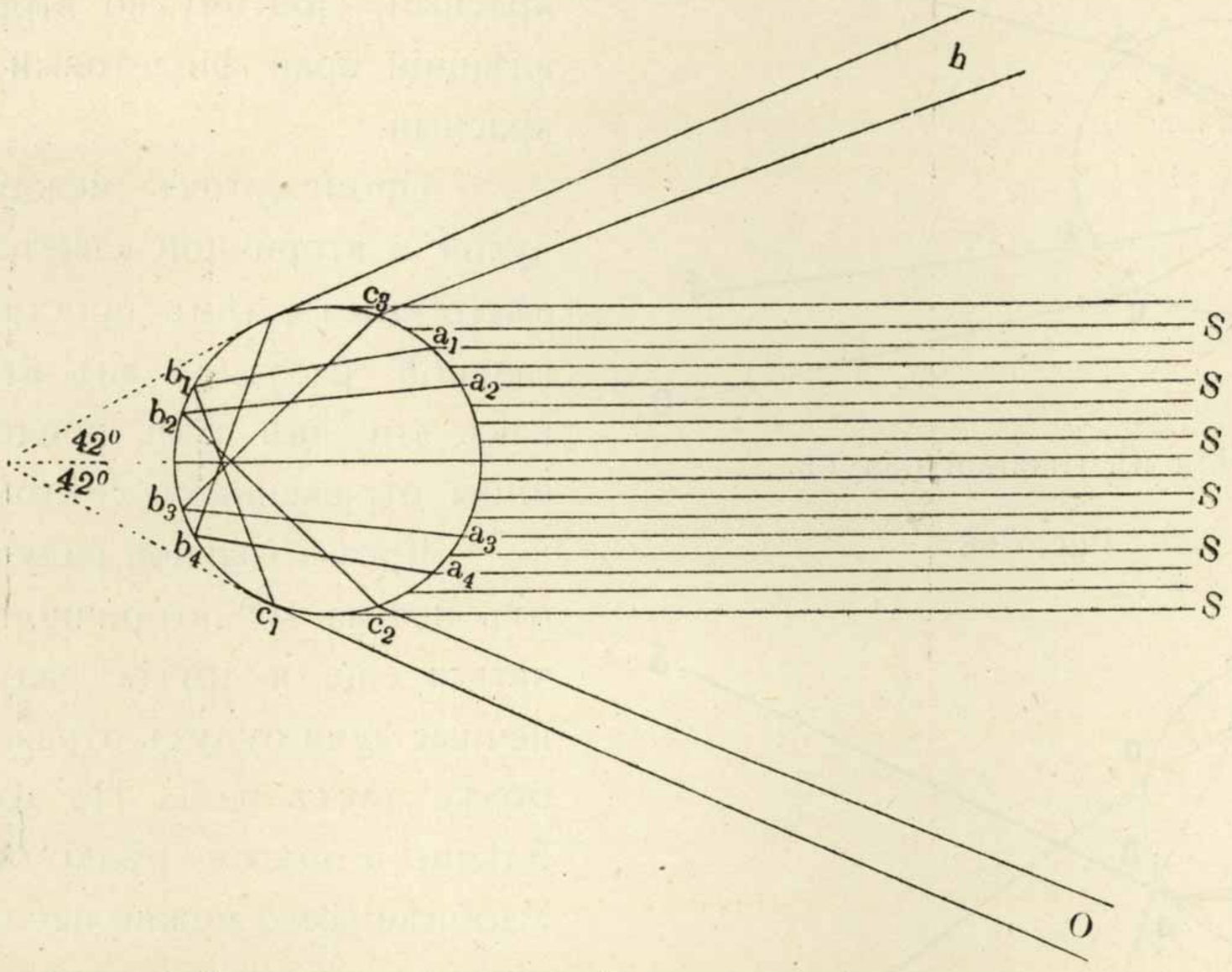
самый нижній лучъ смѣшанъ съ меньшимъ количествомъ „темноты“, чѣмъ остальные, такъ какъ онъ проходитъ въ каплѣ болѣе короткій путь. На этомъ основаніи нижній лучъ долженъ быть краснымъ, верхній фіолетовымъ, а промежуточные лучи должны дать остальные цвѣта. Этотъ опытъ впослѣдствіи былъ повторенъ Декартомъ, которому уже былъ извѣстенъ законъ преломленія свѣта. Декартъ замѣтилъ, что цвѣта радуги, которые при извѣстномъ положеніи шара располагаются въ порядкѣ: фіолетовый, синій, зеленый, желтый и красный, исчезаютъ и затѣмъ располагаются въ обратномъ порядкѣ, если поднять шаръ выше. Это, очевидно, соотвѣтствуетъ внутренней и внѣшней радугѣ. Декартъ замѣтилъ, что наполненный водою шаръ посылаетъ свѣтъ глазу лишь при вполнѣ опредѣленныхъ положеніяхъ, именно, когда прямая, идущая отъ шара къ глазу, образуетъ опредѣленный уголъ съ прямой, соединяющей глазъ наблюдателя и солнце. Тогда онъ вычислилъ, въ какомъ направленіи должны идти солнечные лучи, которые, падая параллельно на каплю воды, преломляются при паденіи, подвергаются отраженію внутри капли и вновь преломляются при выходѣ изъ нея. Пусть S, S, S. . (рис. 366) будутъ параллельные солнечные лучи. Они отчасти отражаются отъ поверхности капли, отчасти вступаютъ въ каплю и идутъ по пути, указанному на рис. 362 или 364. Изъ вычисленій Декартъ нашелъ, что лучи, отразившіеся одинъ разъ внутри капли (рис. 362), выходятъ, разу-

http://mathesis.ru

мѣется, по различнымъ направленіямъ, но главнымъ образомъ по одному опредѣленному направленію cO (рис. 366), образующему съ направленіемъ падающихъ солнечныхъ лучей уголъ въ 42^0. Только по этому направленію глазъ получаетъ отъ капли сильное свѣтовое ощущеніе. Поэтому глазу въ точкѣ O кажутся сильно свѣтящимися тѣ капли, которыя расположены на окружности съ центромъ въ точкѣ пересѣченія прямой „солнце — глазъ наблюдателя“ съ небеснымъ сводомъ и которыя отстоятъ отъ этой точки на 42^0.

Однако, лучъ можетъ пройти каплю также путемъ, указаннымъ на рис. 364, отразившись внутри нея два раза. Декартъ и въ этомъ случаѣ нашелъ аналогію съ тѣмъ, что происходитъ съ лучами при однократномъ отраженіи. Лучи выходятъ главнымъ образомъ по направленію, образующему съ направленіемъ къ солнцу уголъ

Рис. 366



Декартово вычисленіе относительно радуги.

въ 52^0. Глазъ въ точкѣ O получаетъ, слѣдовательно, сильный свѣтъ какъ отъ капель, расположенныхъ на окружности KK (рис. 363), точки которой удалены на 42^0 отъ точки пересѣченія линіи „солнце—глазъ наблюдателя“ съ небеснымъ сводомъ, такъ и отъ капель на окружности LL, точки которой удалены отъ упомянутаго мѣста на 52^0. Отъ KK (главной радуги) получается болѣе сильный свѣтъ, такъ какъ здѣсь имѣетъ мѣсто только одно отраженіе. Свѣтъ, идущій отъ LL, значительно слабѣе, и цвѣта расположены, въ согласіи съ опытомъ Декарта, въ обратномъ порядкѣ.

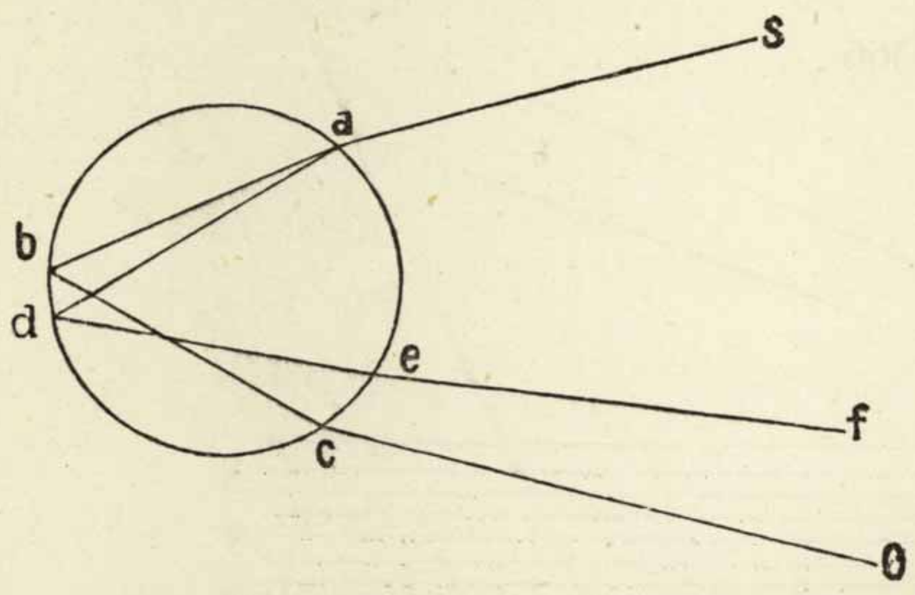
388. Итакъ, Декартъ при помощи своихъ вычисленій далъ объясненіе тому, что радіусъ радуги (выраженный въ дуговыхъ мѣрахъ) всегда одинъ и тотъ же, а также тому, что разстояніе вторичной радуги отъ главной равно приблизительно 10^0. Но объяснить происхожденіе ея цвѣтовъ ему не удалось, такъ какъ это было невозможно безъ Ньютоновой теоріи цвѣтовъ. Разсматривая путь луча въ капляхъ, дающихъ главную радугу, мы найдемъ, что при входѣ въ каплю (въ a, рис. 367) лучъ разсѣивается; пусть ab означаетъ крайній красный лучъ, а ad крайній фіолетовый. Послѣ отраженія въ b и d, первый лучъ выходитъ изъ капли по направленію cO, а

http://mathesis.ru

второй по направленію *ef*. Глазъ, находящійся въ *O*, видитъ только красный лучъ— одинаково какъ изъ разсматриваемой капли, такъ и изъ всѣхъ остальныхъ, находящихся въ такомъ же положеніи. Далѣе, тотъ же глазъ получаетъ желтый свѣтъ отъ капель, непосредственно слѣдующихъ за тѣми, изъ которыхъ идетъ красный, именно отъ расположенныхъ внутри круга первыхъ капель. Далѣе за ними слѣдуютъ круги капель, отъ которыхъ глазъ получаетъ зеленый, голубой и фіолетовый свѣтъ.

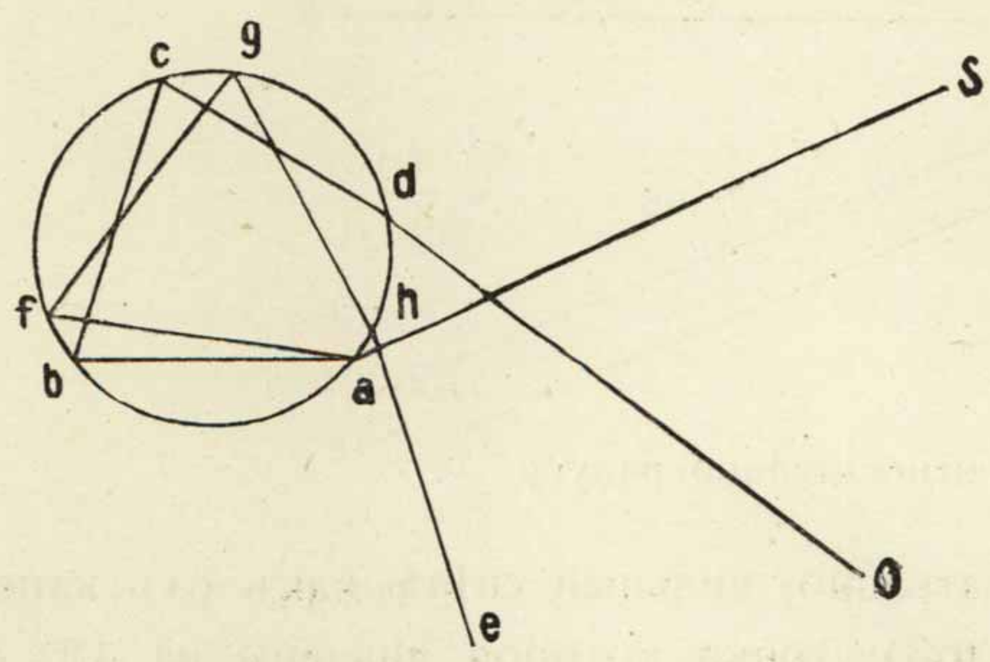
Во вторичной радугѣ цвѣта вслѣдствіе двойного отраженія слѣдуютъ въ обратномъ порядкѣ. Путь такого свѣтового луча показанъ на рис. 368. Лучъ вступаетъ въ каплю въ точкѣ *a* и при этомъ разсѣивается. Красный лучъ идетъ по направленію *abcdO*, а фіолетовый по направленію *afghe*. Здѣсь, слѣдовательно, фіолетовый лучъ образуетъ бо̀льшій уголъ съ направленіемъ солнечныхъ лучей, чѣмъ красный. Поэтому во вторичной радугѣ внѣшній край фіолетовый, а внутренній красный.

Рис. 367



Цвѣта въ главной радугѣ.

Рис. 368



Цвѣта во вторичной радугѣ.

Промежутокъ между главной радугой и вторичной кажется немного болѣе темнымъ, чѣмъ пространство внутри главной радуги и внѣ вторичной, такъ какъ эти двѣ дуги представляютъ границы отраженныхъ свѣтовыхъ лучей.

Кромѣ главной радуги и отстоящей отъ нея на 10^0 вторичной могутъ получаться еще и другія радуги, если солнечные лучи будутъ отражаться въ каплѣ болѣе двухъ разъ. Но эти радуги очень блѣдны и поэтому рѣдко бываютъ видны. Удобнѣе всего можно наблюдать ихъ, направивъ при помощи зеркала сильный солнечный свѣтъ на падающія капли фонтана. Этимъ путемъ французскому физику Билье удалось наблюдать не менѣе 19 различныхъ радугъ.

Нужно также замѣтить, что съ радугой связаны и другія оптическія явленія, напримѣръ, образованіе цвѣтныхъ полосъ внутри главной радуги и внѣ первой изъ вторичныхъ радугъ. Объясненіе этихъ явленій требуетъ обширныхъ вычисленій, которыхъ мы не можемъ привести здѣсь. Для пониманія ихъ необходимо также знаніе другихъ оптическихъ явленій, которыя будутъ разсмотрѣны нами лишь впослѣдствіи.

389. Бѣлый солнечный свѣтъ содержитъ, какъ мы видимъ, лучи различнаго рода, а именно, лучи различной преломляемости. Наименѣе преломляющіеся лучи мы назвали „красными“, наиболѣе преломляющіеся—„фіолетовыми“. Между красными и фіолетовыми лежатъ желтые, зеленые и синіе лучи. Это не значитъ, что лучи эти сами по себѣ имѣютъ цвѣтъ. Всѣ свѣтовые лучи сами по себѣ невидимы. Мы не видимъ свѣтового луча, когда онъ проходитъ передъ нами. Можно, конечно, видѣть полосу свѣта, которая, напримѣръ, проникаетъ черезъ замочную скважину въ темную

http://mathesis.ru

комнату, но это лишь потому, что мы видимъ свѣтъ, отражающійся отъ пылинокъ, разсѣянныхъ въ воздухѣ. Такое свѣтовое ощущеніе можетъ быть сильнѣе или слабѣе и глазъ въ состояніи, хотя бы въ слабой степени, различать болѣе сильный свѣтъ отъ болѣе слабаго. Но родъ свѣтового ощущенія зависитъ отъ степени преломляемости свѣта. Если мы воспринимаемъ впечатлѣніе отъ смѣси лучей всѣхъ возможныхъ степеней преломляемости и если отдѣльныя составныя части этой смѣси находятся между собой въ томъ же отношеніи, что и въ солнечномъ свѣтѣ, то глазъ получаетъ впечатлѣніе свѣта, которое нервы передаютъ сознанію однимъ опредѣленнымъ образомъ. Если же свѣтовое впечатлѣніе вызывается лучами только одной преломляемости, то мы воспринимаемъ его инымъ образомъ. Эти различныя по роду свѣтовыя впечатлѣнія мы различаемъ, какъ ощущенія различныхъ цвѣтовъ. Наименѣе преломляющіеся лучи даютъ ощущеніе краснаго цвѣта, немного болѣе преломляющіеся —желтаго и т. д.

Если свѣтъ, идущій отъ какого-нибудь предмета, вызываетъ то же свѣтовое ощущеніе, что и солнечный свѣтъ, то мы называемъ предметъ бѣлымъ. Предметъ, посылающій „красные“ лучи, мы называемъ краснымъ и т. д. Цвѣта предметовъ зависятъ, такимъ образомъ, отъ степени преломляемости посылаемыхъ ими лучей свѣта. Говоря, что листья деревьевъ зелены, мы указываемъ, что листья отражаютъ зеленые лучи солнечнаго свѣта, поглощая въ бо̀льшей или меньшей мѣрѣ остальные лучи.

Есть много веществъ, какъ, напримѣръ, безцвѣтное стекло, которыя пропускаютъ различные свѣтовые лучи въ одинаковой степени. Бѣлый свѣтъ при прохожденіи черезъ подобную среду не испытываетъ поэтому никакихъ измѣненій. Другіе (окрашенные) сорта стекла, напротивъ того, пропускаютъ лишь лучи свѣта опредѣленной преломляемости: „красное стекло“ только красные лучи, „зеленое стекло“ лишь зеленые лучи и т. д. Это, однако, не слѣдуетъ понимать въ томъ смыслѣ, что пропускаемый свѣтъ въ буквальномъ смыслѣ слова одноцвѣтный (монохроматическій), т. е. что всѣ лучи его преломляются совершенно одинаково. Черезъ красное стекло проходитъ цѣлый рядъ близкихъ другъ къ другу красныхъ лучей, дающихъ смѣшанный красный цвѣтъ. Дальше мы увидимъ, что способность жидкостей поглощать извѣстные лучи солнечнаго свѣта получила практическое примѣненіе.

Въ большинствѣ случаевъ предметъ имѣетъ одинъ и тотъ же цвѣтъ безразлично, получаетъ ли глазъ отраженный отъ предмета свѣтъ или прошедшій сквозь него. Кусокъ краснаго стекла кажется краснымъ и въ отраженномъ и въ проходящемъ свѣтѣ. Причину этого явленія слѣдуетъ искать въ томъ, что свѣтъ отражается не геометрической поверхностью стекла: лучи нѣсколько проникаютъ въ самое стекло и отражаются отъ внутреннихъ его частей. Если стекло обладаетъ свойствомъ поглощать всѣ лучи кромѣ красныхъ, то отраженный свѣтъ такъ же, какъ и проходящій, будетъ краснымъ. Еслибы отраженіе свѣта происходило дѣйствительно только отъ поверхности стекла, то, разумѣется, бѣлый свѣтъ, отражаясь, долженъ былъ бы дать бѣлый свѣтъ. Нѣкоторыя же вещества въ этомъ отношеніи обладаютъ замѣчательными свойствами. Если каплѣ раствора фуксина дать высохнуть на стеклянной пластинкѣ, то полученное пятно въ проходящемъ свѣтѣ будетъ казаться краснымъ, а въ отраженномъ—зеленымъ. Это происходитъ потому, что зеленые лучи отъ поверхности отражаются, а при прохожденіи свѣта сквозь вещество поглощаются. То же самое обнаруживаютъ и цвѣтные металлы: золото отражаетъ преимущественно

http://mathesis.ru

красные и желтые лучи, но тонкая просвѣчивающая золотая пластинка пропускаетъ зеленый свѣтъ.

390. Говоря вообще, предметъ имѣетъ одинъ изъ тѣхъ цвѣтовъ, которые содержатся въ падающемъ на него свѣтѣ. Если, напримѣръ, предметъ освѣщается краснымъ свѣтомъ, то онъ кажется окрашеннымъ въ болѣе или менѣе яркій красный цвѣтъ. Зеленый листъ въ красныхъ лучахъ виденъ крайне слабо, но все же кажется краснымъ. Зеленый листъ сквозь красное стекло кажется краснымъ, именно потому, что зеленый листъ отражаетъ отъ своей поверхности и красные лучи. Существуютъ, однако, вещества, испускающія свѣтъ другой преломляемости, чѣмъ тотъ, который на нихъ падаетъ. Уже въ XVI вѣкѣ одинъ испанскій ученый сдѣлалъ наблюденіе, впослѣдствіи болѣе точно описанное Аѳанасіемъ Кирхеромъ и Робертомъ Бойлемъ. Позднѣе это интересное явленіе было забыто и впервые вновь имъ занялся Гёте.

Аѳанасій Кирхеръ получилъ въ подарокъ кубокъ изъ одного американскаго дерева (Anacardium). Кирхеръ замѣтилъ, что вода, находившаяся нѣсколько времени въ этомъ кубкѣ, оставаясь совершенно чистой, пріобрѣтала своеобразный голубой цвѣтъ. Лучи свѣта, проходившіе сквозь воду, не были цвѣтными, но вода пріобрѣтала свойство испускать голубой свѣтъ. Бойль также изслѣдовалъ это явленіе и нашелъ, что вода, бывшая въ соприкосновеніи съ этимъ деревомъ, въ проходящемъ свѣтѣ казалась золотистожелтой, а въ отраженномъ голубой.

Это замѣчательное оптическое свойство вода пріобрѣтаетъ, разумѣется, потому, что растворяетъ какую-то составную часть упомянутаго дерева. Гёте нашелъ, что кора конскаго каштана дѣйствуетъ на воду подобнымъ же образомъ. Если свѣтъ падаетъ на этотъ растворъ, то онъ отражаетъ чистый голубой свѣтъ. Если же смотрѣть сквозь растворъ, то предметы кажутся желтыми. Въ 1833 году Брустеръ нашелъ, что растворъ зеленаго красящаго вещества листьевъ (хлорофилла) въ спиртѣ кажется на солнцѣ темнокраснымъ. Брустеръ наблюдалъ также, что плавиковый шпатъ свѣтитъ на солнцѣ голубымъ цвѣтомъ. Съ тѣхъ поръ найдено было много веществъ, свѣтящихся на солнцѣ собственнымъ свѣтомъ. Однимъ изъ наиболѣе извѣстныхъ веществъ такого рода является керосинъ.

Англійскій физикъ Стоксъ произвелъ цѣлый рядъ тщательныхъ изслѣдованій для объясненія природы флуоресценціи (это названіе произошло отъ плавиковаго шпата, содержащаго элементъ фторъ=*Fluor*). Онъ направлялъ солнечный спектръ на стеклянный сосудъ съ прозрачнымъ флуоресцирующимъ растворомъ сѣрнокислаго хинина. Красные, желтые, зеленые и голубые лучи пропускались жидкостью, фіолетовые же лучи дѣйствовали такъ, что жидкость становилась свѣтящейся и испускала голубоватый свѣтъ. Невидимые лучи, лежащіе за фіолетовымъ концомъ спектра, такъ называемые ультрафіолетовые, также дѣлаютъ жидкость свѣтящейся. По Стоксу этотъ процессъ заключается въ томъ, что жидкость поглощаетъ фіолетовые и ультрафіолетовые лучи и испускаетъ синіе. А такъ какъ фіолетовые и ультрафіолетовые лучи преломляются сильнѣе, чѣмъ синіе, то объясненіе это можно формулировать и такъ: флуоресцирующее вещество поглощаетъ нѣкоторые лучи и взамѣнъ ихъ испускаетъ другіе, меньшей преломляемости.

Найдено было, что свѣтъ вольтовой дуги содержитъ гораздо больше ультрафіолетовыхъ лучей, чѣмъ солнечный свѣтъ. Стоксъ получалъ спектръ электрическаго

http://mathesis.ru

свѣта при помощи призмы изъ горнаго хрусталя, которая, въ противоположность стеклянной призмѣ, пропускаетъ ультрафіолетовые лучи. Принимая этотъ спектръ на флуоресцирующее вещество, напримѣръ, на бумагу, покрытую солью урана, Стоксъ замѣчалъ, что получался спектръ въ шесть—семь разъ длиннѣе обыкновеннаго видимаго спектра. При помощи явленій флуоресценціи можно, такимъ образомъ, обнаружить существованіе невидимыхъ ультрафіолетовыхъ лучей.

391. Разсматривая солнечный спектръ, мы видимъ безчисленное множество цвѣтовъ и цвѣтныхъ оттѣнковъ отъ темнокраснаго цвѣта до темнофіолетоваго. Глазъ не въ состояніи опредѣлить съ точностью границы отдѣльныхъ цвѣтовъ, но каждый отдѣльный цвѣтной лучъ мы можемъ опредѣлить физически—при помощи его показателя преломленія, если этотъ послѣдній можетъ быть вполнѣ точно измѣренъ. Мы имѣемъ, такимъ образомъ, точный признакъ цвѣта въ величинѣ преломленія. Что же касается ощущенія цвѣта, то желтый цвѣтъ, напримѣръ, можетъ быть обусловленъ не только желтыми лучами спектра, но также и извѣстной смѣсью другихъ цвѣтовъ спектра. Смѣшивая красные и зеленые лучи, можно получить всѣ промежуточные цвѣта. Зеленые и фіолетовые лучи вмѣстѣ могутъ дать голубой цвѣтъ. Существуютъ, однако, три цвѣта—красный, зеленый и фіолетовый,—которыхъ нельзя получить смѣшеніемъ другихъ цвѣтовъ и которые поэтому называются основными цвѣтами. Изъ нихъ, путемъ смѣшенія, могутъ быть получены всѣ остальные цвѣта, и такъ какъ всѣ цвѣта вмѣстѣ даютъ бѣлый цвѣтъ, то и три основные цвѣта должны дать при смѣшеніи бѣлый цвѣтъ. Опыты надъ смѣшеніемъ цвѣтовъ производятся при помощи кружка, изображеннаго на рис. 358 (ср. § 382).

Если раскрасить этотъ кружокъ тремя основными цвѣтами, краснымъ, зеленымъ и фіолетовымъ, и привести его во вращеніе, то получится впечатлѣніе бѣлаго цвѣта, если, конечно, раскрашенные секторы находятся другъ къ другу въ надлежащемъ отношеніи. Когда секторы раскрашены только въ зеленый и фіолетовый цвѣтъ попеременно, то вращающійся кружокъ кажется зеленоголубымъ. Если поэтому вращать кружокъ съ нанесенными на немъ красными и зеленоголубыми секторами попеременно, то онъ покажется бѣлымъ. Два цвѣта, вмѣстѣ дающіе бѣлый, называются дополнительными цвѣтами, и всякому цвѣту соотвѣтствуетъ другой, дополняющій его до бѣлаго. Если вписать названія цвѣтовъ въ 10 секторовъ круга, какъ указано на рис. 369, то каждая пара діаметрально противоположныхъ названій указываетъ дополнительные цвѣта.

Чистые дополнительные цвѣта можно получить при помощи спектра. Если пропустить пучокъ лучей сквозь призму и задержать экраномъ *S* (рис. 370) изъ всѣхъ цвѣтныхъ лучей только красные, а остальные пропустить черезъ собирательное стекло, то на экранѣ *B* они, соединившись, дадутъ зеленоголубое пятно. Если изъ солнечнаго свѣта исключить красные лучи, то остальные, конечно, образуютъ вмѣстѣ дополнительный цвѣтъ для краснаго.

392. Довѣрять способности глаза различать цвѣта нельзя. Бѣлый цвѣтъ не всегда ощущается, какъ бѣлый. Если долго и пристально смотрѣть на красный кружокъ, укрѣпленный на бѣлой стѣнѣ, а затѣмъ перевести взглядъ на стѣну, то въ теченіе нѣкотораго времени глазъ еще продолжаетъ видѣть изображеніе кружка,—первыя нѣсколько мгновеній въ его настоящемъ цвѣтѣ, а затѣмъ въ дополнительномъ. Происхожденіе этихъ такъ называемыхъ субъективныхъ цвѣтовъ объясняется прежде всего тѣмъ, что свѣтовое впечатлѣніе сохраняется въ теченіе нѣкото-

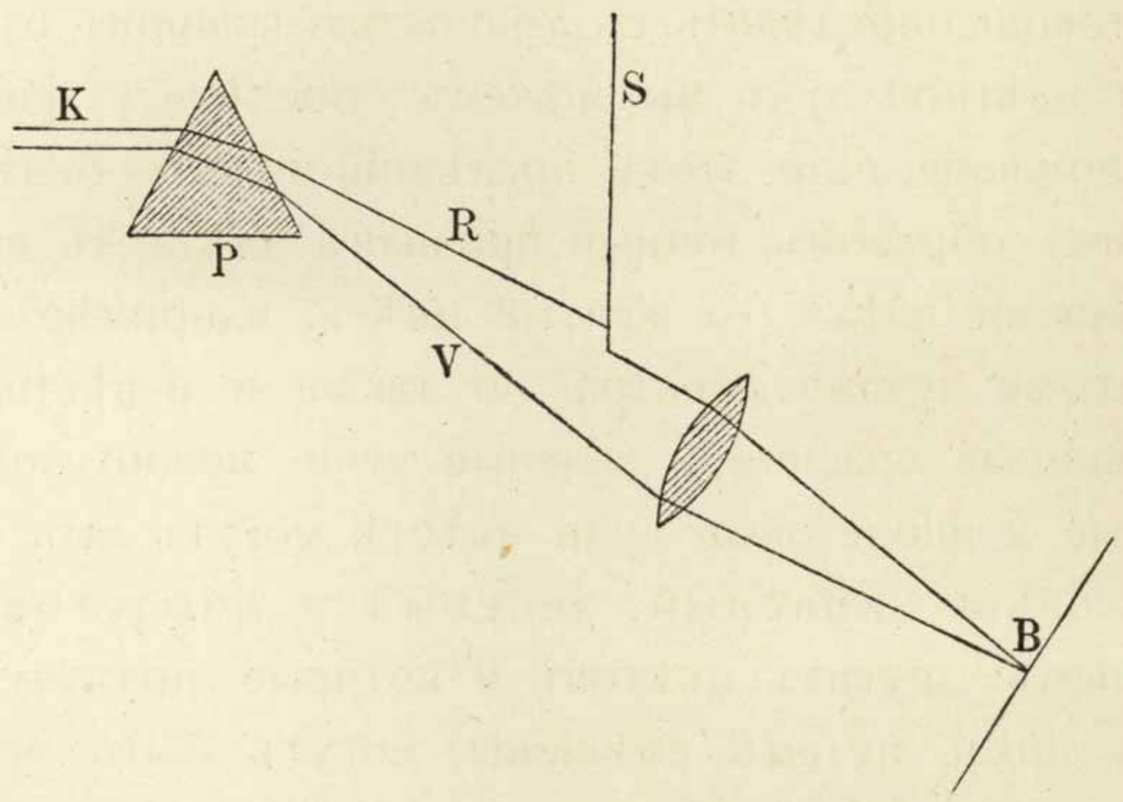
http://mathesis.ru

раго промежутка времени, а затѣмъ также и тѣмъ, что зрительный нервъ утомляется лучами одного цвѣта и потому становится сравнительно болѣе чувствительнымъ къ дополнительнымъ лучамъ. Когда мы перестаемъ смотрѣть на красный кружокъ, глазъ еще сохраняетъ въ теченіе нѣсколькихъ мгновеній впечатлѣніе краснаго цвѣта, но вскорѣ затѣмъ оно исчезаетъ и дополнительные къ красному цвѣту зеленые лучи, изъ испускаемыхъ бѣлой стѣной, даютъ субъективное зеленое изображеніе.

Рис. 369



Рис. 370



Дополнительные цвѣта.

Разсматривая различныя краски, наложенныя одна возлѣ другой, мы замѣчаемъ, что онѣ своеобразно вліяютъ другъ на друга: возникаютъ такъ называемые контрастные цвѣта. Ихъ можно видѣть, напримѣръ, разсматривая сѣрый кружокъ на цвѣтномъ фонѣ. Если положить, напримѣръ, сѣрую облатку на зеленую бумагу, то она будетъ казаться красноватой, а на красной бумагѣ—зеленоватой. Для того чтобы цвѣта гармонировали другъ съ другомъ, каждому цвѣту долженъ отвѣчать лежащій возлѣ него контрастный, по крайней мѣрѣ въ томъ случаѣ, когда есть только два цвѣта. Если же число цвѣтовъ больше двухъ, то соотношенія не такъ просты и никакихъ обязательныхъ правилъ въ этихъ случаяхъ указать нельзя.

393. Ньютонъ представилъ свою работу о цвѣтахъ въ Royal Society въ 1672 г. Семью годами раньше появилось замѣчательное сочиненіе о свѣтѣ, авторъ котораго, умершій еще въ 1663 г. іезуитскій патеръ Франческо Гримальди, былъ учителемъ въ іезуитской коллегіи въ Болоньѣ. Весьма вѣроятно, что сочиненіе это появилось только послѣ смерти автора вслѣдствіе его боязни вызвать столкновенія, такъ какъ содержаніе этого сочиненія находилось въ противорѣчіи съ общепринятыми въ то время взглядами.

Гримальди пропускалъ свѣтъ въ темную комнату черезъ узкое отверстіе и вводилъ въ полосу свѣта палку, тѣнь отъ которой падала на бѣлую стѣну. Къ своему удивленію Гримальди замѣтилъ, что самая темная часть тѣни была шире, чѣмъ слѣдовало бы по закону прямолинейнаго распространенія свѣта. Кромѣ того по обѣимъ сторонамъ тѣни онъ замѣтилъ цвѣтныя полосы, а при ближайшемъ разсмотрѣніи нашелъ такого же рода свѣтлыя цвѣтныя полосы въ самой тѣни.—Для объясненія происхожденія этихъ полось Гримальди пришлось допустить, что свѣтъ распространяется не только по прямой линіи, какъ это принималось до тѣхъ поръ, но что при

http://mathess.ru

соприкосновеніи съ предметомъ, бросающимъ тѣнь, онъ идетъ криволинейно и отчасти попадаетъ внутрь тѣни, отчасти наружу.

Чтобы убѣдиться въ томъ, что измѣненіе направленія свѣта не зависѣло ни отъ какихъ преломленій или отраженій отъ палки, Гримальди вмѣсто палки взялъ непрозрачную пластинку съ маленькимъ круглымъ отверстіемъ для прохожденія свѣта. Тогда оказалось, что круглое пятно свѣта на экранѣ было больше, чѣмъ оно должно было бы быть, еслибы солнечные лучи распространялись прямолинейно.

Гримальди измѣнилъ затѣмъ опытъ въ томъ смыслѣ, что пустилъ свѣтъ черезъ два маленькихъ отверстія такимъ образомъ, что два свѣтовыхъ пятна отчасти налагались другъ на друга. То мѣсто на экранѣ, куда падалъ свѣтъ отъ обоихъ отверстій, было свѣтлѣе того, которое получало свѣтъ только черезъ одно изъ отверстій, но въ болѣе освѣщенной части свѣтового пятна можно было замѣтить темныя (цвѣтныя) кольца. Какъ только одно изъ отверстій закрывалось, темныя кольца исчезали; стоило открыть его — и они снова появлялись. Итакъ, свѣтъ одного изъ отверстій, падая на свѣтовое пятно, образованное свѣтомъ другого, вызывалъ его затемненіе. Этимъ опытомъ Гримальди доказалъ такимъ образомъ, что свѣтъ, присоединяясь къ свѣту, можетъ дать темноту.

394. Свойства свѣта, замѣченныя Гримальди, до тѣхъ поръ были совершенно неизвѣстны. Никто въ то время не зналъ, что свѣтъ можетъ заходить за углы, что свѣтовой лучъ, смотря по обстоятельствамъ, можетъ усиливать или ослаблять свѣтъ другого луча. Гримальди не удалось, правда, вполнѣ объяснить замѣченныя имъ явленія. Онъ сравнивалъ свѣтлые и темные круги пятна свѣта на экранѣ съ круговыми волнами, которыя образуетъ камень, брошенный въ воду. Возвышенія волны соотвѣтствуютъ свѣтлымъ, а долины ея — темнымъ кругамъ. Въ заключеніе онъ говоритъ: „И подобно тому, какъ волны вокругъ камня представляютъ не что иное, какъ скопленіе воды съ выемкой вокругъ, такъ и свѣтящіяся полосы суть не что иное, какъ свѣтъ, неравномѣрно распредѣленный вслѣдствіе особаго разсѣянія и прорѣзанный промежутками, наполненными тѣнью (бѣдными свѣтомъ)“.

Представленія Гримальди были правда, очень неясны, но онъ во всякомъ случаѣ догадывался, что свѣтъ есть нѣчто сравнимое съ водяными волнами. Въ томъ же 1665 году, въ которомъ было напечатано это сочиненіе, появилось и знаменитое сочиненіе Роберта Гука „Микрографія“, въ которомъ онъ разсматриваетъ свѣтъ, какъ извѣстный видъ волнообразнаго движенія. Согласно его взгляду свѣтъ состоитъ изъ небольшихъ быстрыхъ колебаній свѣтящагося тѣла. Въ однородномъ тѣлѣ эти колебанія (волны) распространяются во всѣ стороны съ одинаковой скоростью. Волна образуетъ поэтому все увеличивающуюся шаровую поверхность, подобно тому какъ волны на водѣ образуютъ увеличивающіеся расходящіеся круги; но свѣтовая волна распространяется несравненно быстрѣе водяной.

395. Въ томъ же году, въ которомъ стали извѣстны опыты Гримальди и волнообразная теорія Гука, Эразмъ Бартолинъ (1625—1698) сдѣлалъ важное открытіе въ области оптики. Бартолинъ принадлежалъ къ вліятельной семьѣ, которая стояла во главѣ Копенгагенскаго университета XVII вѣка. Онъ былъ врачомъ и математикомъ, но занимался также астрономическими и физическими изслѣдованіями. Въ 1664 году онъ писалъ о кометахъ, а въ 1665—о воздухѣ въ Копенгагенѣ. Его открытіе въ оптикѣ касалось явленій преломленія свѣта въ прозрачномъ известковомъ

http://mathesis.ru

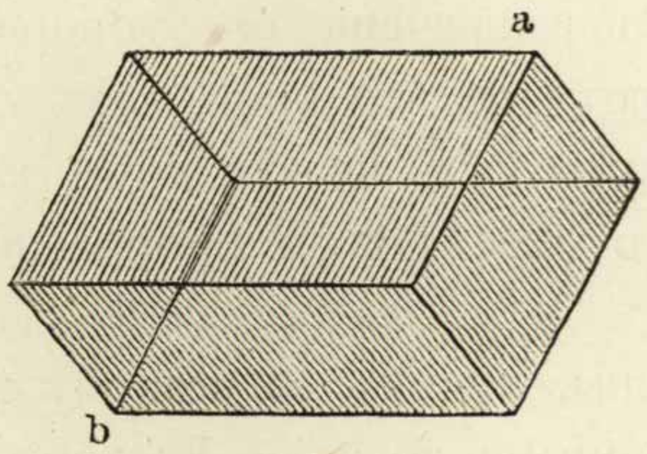
шпатѣ, такъ называемомъ исландскомъ. Минералъ этотъ прозраченъ, какъ вода, и кристаллизуется въ видѣ ромбоэдровъ (рис. 372). Бартолинъ нашелъ, что предметы при разсматриваніи черезъ пластинку известковаго шпата кажутся двойными.

Рис. 371



Эразмъ Бартолинъ.

Рис. 372



Ромбоэдръ известковаго шпата.

Свѣтъ изъ одной и той же точки попадаетъ въ глазъ, такимъ образомъ, по двумъ направленіямъ. Известковый шпатъ какъ бы расщепляетъ лучъ свѣта на два луча, изъ которыхъ каждый идетъ своимъ особымъ путемъ. Это видно очень ясно, если положить пластинку известковаго шпата на печатный листъ. Всѣ буквы кажутся тогда двойными (рис. 373).

Если лучъ свѣта падаетъ перпендикулярно къ одной изъ боковыхъ поверхностей этого кристалла, то онъ раздѣляется на два луча, изъ которыхъ одинъ входитъ въ кристаллъ, не преломляясь, другой же преломляется. Выйдя изъ кристалла, оба луча идутъ параллельно (рис. 374).

Если лучъ свѣта падаетъ наклонно къ поверхности кристалла, то онъ дѣлится на два луча, изъ которыхъ одинъ слѣдуетъ обычному закону преломленія, другой же, говоря вообще, удаляется отъ плоскости паденія. Первый обыкновенно называютъ обыкновеннымъ, а второй необыкновеннымъ лучомъ (рис. 374).

Отшлифовавъ природный кристаллъ известкового шпата по другимъ направленіямъ, можно замѣтить, что свѣтъ, смотря по направленію луча въ кристаллѣ, преломляется весьма различнымъ образомъ. Въ вершинахъ *a* и *b* (рис. 372) имѣютъ общую вершину три тупыхъ угла. Прямая, образующая въ кристаллѣ такіе же углы съ тремя боковыми поверхностями, называется оптической осью кристалла. Если отшлифовать поверхность перпендикулярно къ этому направленію въ кристаллѣ и пустить лучъ перпендикулярно къ этой плоскости, то лучъ не раздѣлится и пройдетъ черезъ кристаллъ безъ преломленія. По направленію оптической оси двойного преломленія не происходитъ.

Рис. 373

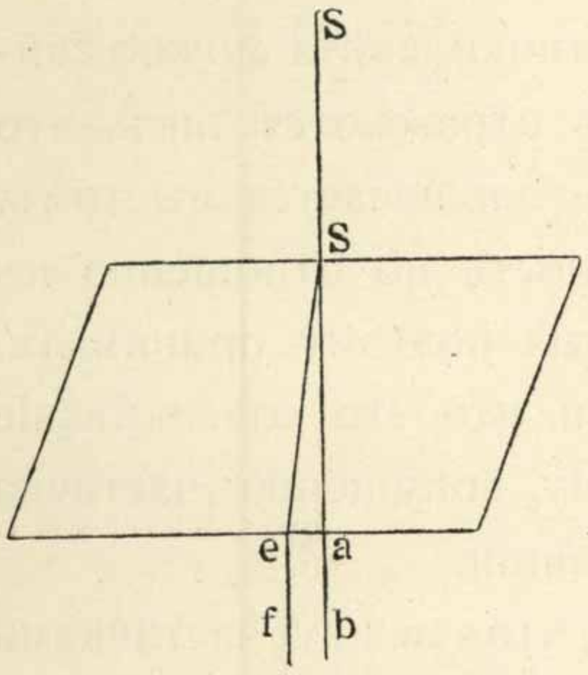


Двойное лучепреломленіе.

http://...

Всякая плоскость, проходящая черезъ оптическую ось кристалла известковаго шпата, называется его главнымъ сѣченіемъ. Если лучъ вступаетъ въ плоскости главнаго сѣченія, то оба луча, обыкновенный и необыкновенный, остаются въ плоскости паденія, т. е. въ плоскости главнаго сѣченія, но преломляются неодинаково сильно. Если же плоскость паденія луча не совпадаетъ съ главнымъ сѣченіемъ, то необыкновенный лучъ выходитъ изъ плоскости паденія и его преломленіе для различныхъ becomes угловъ паденія различно, но всегда меньше преломленія обыкновеннаго луча.

Рис. 374



Двойное преломленіе.

Гюйгенсъ (§ 161), а за нимъ многіе другіе изслѣдователи показали, что во всѣхъ кристаллахъ, обладающихъ такъ называемой кристаллографической главной осью (въ квадратныхъ и гексагональныхъ кристаллахъ), свѣтъ преломляется такимъ же образомъ, какъ и въ известковомъ шпатѣ, т. е. только одинъ изъ лучей подчиняется обыкновенному закону преломленія свѣта. Подобнаго рода кристаллы называются оптически-одноосными. Оптическая ось, т. е. направленіе, для котораго двойного преломленія не получается, совпадаетъ съ кристаллографической главной осью. Въ такъ называемыхъ оптически-двуосныхъ кристаллахъ также существуетъ двойное преломленіе, но ни одинъ изъ двухъ лучей не слѣдуетъ обыкновенному закону преломленія свѣта. Эти кристаллы, такъ называемые ромбическіе, моноклиническіе и триклиническіе, имѣютъ двѣ оптическія оси, т. е. два направленія, для которыхъ не получается двойного преломленія. Въ такъ называемыхъ правильныхъ кристаллахъ двойного преломленія вообще нѣтъ.

396. Необходимымъ слѣдствіемъ всѣхъ этихъ новыхъ открытій явилась потребность выработать опредѣленный взглядъ на природу свѣта. Можно считать общимъ правиломъ, что накопленіе значительной массы опытнаго матеріала въ наукѣ всегда влечетъ за собой созданіе гипотезы, охватывающей всю эту массу отдѣльныхъ явленій съ одной общей точки зрѣнія. Такая гипотеза (допущеніе, предположеніе) не является, конечно, заключеніемъ изслѣдованія; напротивъ — въ изслѣдованіи природы наиболѣе плодотворной является такая гипотеза, которая вызываетъ новый рядъ важныхъ открытій, затѣмъ становится недостаточной и уступаетъ мѣсто болѣе широкой. Но полезно, даже, можно сказать, необходимо, чтобы изслѣдованіе постоянно охватывало всѣ добытые результаты съ какой-нибудь общей точки зрѣнія, которая могла бы лечь въ основу дальнѣйшей планомѣрной работы. Не слѣдуетъ только забывать при этомъ, что гипотеза вовсе не есть послѣднее слово науки. Гипотеза не даетъ познанія абсолютной истины и не должна поэтому становиться догматомъ, такъ какъ въ этомъ случаѣ она послужитъ только препятствіемъ для свободнаго изслѣдованія.

По господствовавшему въ древности воззрѣнію свѣтъ состоитъ изъ маленькихъ частицъ, испускаемыхъ свѣтящимся тѣломъ. Этотъ взглядъ высказывался уже Демокритомъ изъ Абдеръ и оставался общепринятымъ въ продолженіе всѣхъ среднихъ вѣковъ.

Гримальди и Гукъ разсматривали свѣтъ, какъ волнообразное движеніе, безъ всякаго опредѣленнаго представленія о родѣ этого движенія.

Ньютонъ сознавалъ всю трудность вопроса о природѣ свѣта и предпочиталъ

http://mathesis.ru

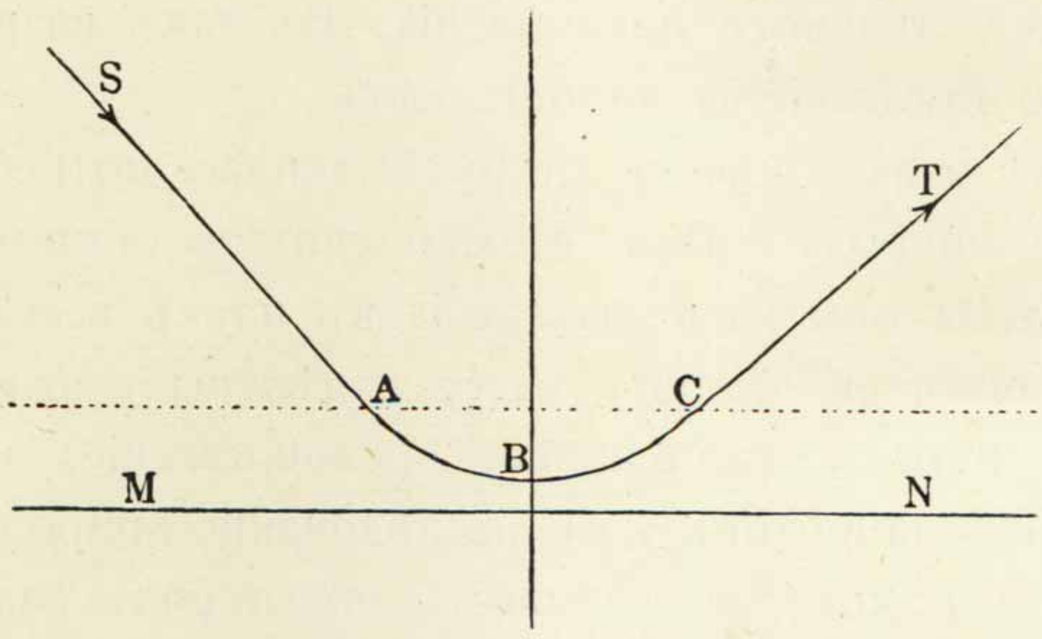
вовсе не высказываться по этому поводу. Сообщая свои открытія относительно происхожденія цвѣтовъ, онъ не касался этого вопроса, а добытые имъ результаты были совершенно независимы отъ представленій о сущности свѣта. Лишь по настоянію своихъ друзей онъ опубликовалъ также и свою теорію свѣта, которая, однако, не вполнѣ удовлетворяла его самого.

397. Ньютонъ принималъ, что всякое свѣтящееся тѣло испускаетъ маленькія частички, которыя при встрѣчѣ съ сѣтчаткой глаза вызываютъ въ насъ ощущеніе свѣта. Различнымъ цвѣтамъ соотвѣтствуютъ различной величины частички, фіолетовымъ лучамъ—самыя маленькія, краснымъ—самыя большія.

Въ этой теоріи отраженіе свѣта объясняется легко. Частички свѣта можно считать упругими тѣлами. Ударяясь о гладкую поверхность, онѣ отражаются такъ, что уголъ отраженія равенъ углу паденія. Трудность при этомъ заключается въ томъ, что если частицы свѣта достаточно малы, то никакая поверхность по отношенію къ нимъ не можетъ быть разсматриваема, какъ плоскость. Ньютонъ поэтому принималъ, что отражающія поверхности отталкиваютъ частички свѣта и что это отталкиваніе направляетъ ихъ по пути, указанному на рис. 375. По этому допущенію частичка свѣта вблизи отражающей поверхности движется по кривой линіи.

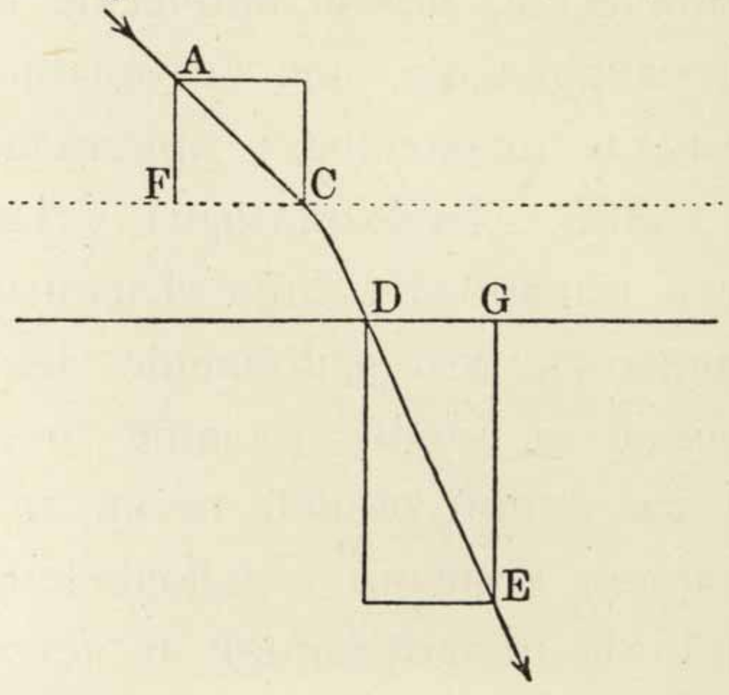
Преломленіе свѣта Ньютонъ объяснялъ допущеніемъ, что между частичками свѣта и преломляющимъ тѣломъ существуетъ извѣстное притяженіе. Частичка свѣта,

Рис. 375



Ньютоново объясненіе отраженія.

Рис. 376



Ньютоново объясненіе преломленія.

приближаясь по пути *AC* къ такому тѣлу, въ силу этого притяженія идетъ по измѣненному направленію *CD* (ср. съ движеніемъ брошеннаго тѣла, § 169), а затѣмъ внутри тѣла по направленію *DE* (рис. 376). Притяженіе вліяетъ только на ту слагающую скорости, которая перпендикулярна къ преломляющей поверхности. Если взять $FC = DG$, то *AC* и *DE* будутъ разстоянія, проходимыя въ равные промежутки времени. Еслибы это объясненіе было правильно, то скорость свѣта въ болѣе плотной средѣ должна была бы быть больше. Но Фуко показалъ, что скорость свѣта въ водѣ меньше, чѣмъ въ воздухѣ (§ 288).

398. Главная трудность въ теоріи Ньютона заключается въ томъ, что отраженіе объясняется отталкиваніемъ, а преломленіе—притяженіемъ. Такимъ образомъ, тѣло, одновременно отражающее и преломляющее свѣтъ, по этой теоріи должно было бы нѣкоторыя частички отталкивать, а другія притягивать.

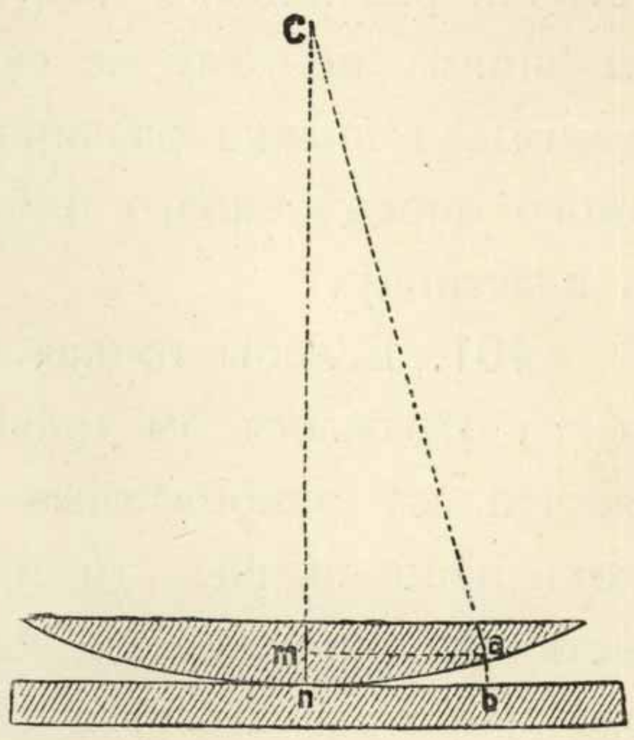
http://mathesis.ru

Ньютонъ старался устранить это затрудненіе предположеніемъ, что свѣтовой лучъ содержитъ частички двухъ различныхъ видовъ, изъ которыхъ однѣ легче отражаются, а другія легче преломляются. При помощи этого допущенія Ньютонъ объяснялъ также происхожденіе такъ называемыхъ цвѣтовъ тонкихъ пластинокъ. Цвѣта эти, которые можно прекрасно наблюдать на мыльныхъ пузыряхъ, были извѣстны уже Бойлю и Гуку. Сталь послѣ нагрѣванія, т. е. покрытая тонкимъ слоемъ окиси, тоже даетъ эти цвѣта. Затѣмъ ихъ можно также наблюдать, когда лучъ свѣта падаетъ на воду, поверхность которой покрыта тонкимъ слоемъ масла.

Для полученія этихъ цвѣтовъ Ньютонъ пользовался слѣдующимъ приборомъ. На стеклянную пластинку накладывалась плосковыпуклая чечевица малой кривизны. Промежутокъ между линзой и пластинкой представлялъ въ такомъ случаѣ узкое пространство въ видѣ клина, занятое воздухомъ. Посрединѣ чечевица касалась стеклянной пластинки, начиная же съ этого мѣста, во всѣ стороны толщина воздушнаго слоя постепенно увеличивалась (рис. 377).

Направляя на эти стекла монохроматическій свѣтъ, напримѣръ, красный, такъ, чтобы, отразившись, онъ попадалъ въ глазъ, Ньютонъ наблюдалъ по срединѣ темное пятно, окруженное свѣтлыми и темными кольцами попеременно. Если на стекла направлялся бѣлый свѣтъ, то середина оставалась темной, но кольца вокругъ нея были цвѣтныя.

Рис. 377



Ньютоновы цвѣтныя кольца.

Въ проходящемъ свѣтѣ середина казалась свѣтлой и окруженной темными и свѣтлыми кольцами, при чемъ свѣтлыя кольца находились тамъ, гдѣ раньше были темныя, и наоборотъ. При употребленіи монохроматическаго свѣта красное кольцо появлялось въ томъ мѣстѣ, гдѣ раньше было зеленоголубое, т. е. цвѣта въ томъ и другомъ случаѣ дополняли другъ друга.

Ньютону съ самаго начала было ясно, что явленія этихъ цвѣтовъ обусловливаются слоемъ воздуха. Онъ наполнялъ пространство между линзой и стеклянной пластинкой водою и кольца получались такія же, какъ и въ воздухѣ, только значительно меньшихъ размѣровъ.

399. Ньютонъ объяснялъ образованіе этихъ колецъ допущеніемъ, что свѣтовыя частички въ лучѣ находятся въ различныхъ состояніяхъ, такъ что однѣ изъ нихъ отражаются, другія же преломляются. Если вообразить себѣ свѣтовыя частички въ лучѣ въ видѣ нитки жемчуга, то можно представить, что отдѣльныя жемчужины—то въ одномъ, то въ другомъ состояніи—чередуются другъ съ другомъ попеременно. Нужно также принять, что одна и та же свѣтовая частичка находится то въ одномъ, то въ другомъ состояніи. Происхожденіе Ньютоновыхъ цвѣтныхъ колецъ объясняется въ такомъ случаѣ слѣдующимъ образомъ. Монохроматическій свѣтъ, падая на линзу въ точкѣ соприкосновенія, не отражается, а проходитъ дальше. Свѣтъ же, не проходящій черезъ эту точку, либо отражается отъ пластинки, пройдя слой воздуха, либо вступаетъ въ нее. Будетъ ли имѣть мѣсто то или другое, зависитъ отъ состоянія, въ которомъ свѣтовая частичка достигаетъ пластинки. Если она доходитъ до нея въ „состояніи отраженія“, то она отражается, если же, наоборотъ, въ „состояніи преломленія“, то

http://mathesis.ru

она преломляется. Если свѣтовая частичка, встрѣчающая пластинку на извѣстномъ разстояніи отъ точки соприкасанія, отражается, то и слѣдующая свѣтовая частичка въ томъ же лучѣ тоже отражается, такъ какъ достигаетъ пластинки тоже въ состояніи „отраженія“. Перемѣна состоянія происходитъ именно въ моментъ встрѣчи съ пластинкой. То же самое происходитъ со слѣдующей свѣтовой частичкой въ лучѣ. Такимъ образомъ, въ соотвѣтственномъ мѣстѣ пластинки свѣтъ безпрерывно отражается и то же происходитъ во всѣхъ точкахъ, находящихся на одинаковомъ разстояніи отъ средней точки. Свѣтъ, отраженный отъ всѣхъ этихъ точекъ, образуетъ свѣтлое кольцо.

Состояніе, въ которомъ свѣтовая частичка достигаетъ пластинки, зависитъ, очевидно, отъ толщины воздушнаго слоя.—Свѣтовая частичка, встрѣчающая пластинку на болѣе далекомъ разстояніи отъ средней точки, должна пройти черезъ болѣе толстый слой воздуха. Свѣтовыя частички достигаютъ пластинки въ „состояніи преломленія“ и поэтому вступаютъ въ нее. За свѣтлымъ кольцомъ слѣдуетъ поэтому темное, за нимъ снова свѣтлое и т. д. То же объясненіе имѣетъ мѣсто и для колецъ въ проходящемъ свѣтѣ. Темному кольцу въ отраженномъ свѣтѣ соотвѣтствуетъ свѣтлое кольцо въ проходящемъ свѣтѣ и наоборотъ.

400. Если на линзу падаетъ не монохроматическій свѣтъ, а бѣлый, то свѣтовыя частички различныхъ цвѣтовъ мѣняютъ свое „состояніе“ не въ одно и то же время. Мы видимъ поэтому не свѣтлыя и темныя кольца, послѣдовательно идущія одно за другимъ, а кольца различныхъ цвѣтовъ, такъ какъ въ томъ мѣстѣ, гдѣ частички одного опредѣленнаго цвѣта отражаются, частички дополнительнаго цвѣта вступаютъ въ пластинку.

401. Еслибы тонкая пленка (воздушный слой) была повсюду одинаковой толщины, то отражался бы только свѣтъ опредѣленнаго цвѣта. Ньютонъ былъ того мнѣнія, что всѣ одноцвѣтныя тѣла сами по себѣ прозрачны. Если же они иногда бываютъ непрозрачны, то причина этого заключается въ томъ, что внутри тѣла существуютъ промежутки, наполненные воздухомъ (поры). Но самая поверхность такого непрозрачнаго тѣла состоитъ изъ тонкихъ листочковъ, которые, смотря по своей толщинѣ, отражаютъ тотъ или другой цвѣтъ, и цвѣтъ тѣла есть не что иное, какъ „отражательный цвѣтъ“ этихъ тонкихъ листочковъ.

402. Въ этихъ запутанныхъ соотношеніяхъ Ньютонъ видѣлъ подтвержденіе своего допущенія о періодическомъ измѣненіи состоянія свѣтовыхъ частичекъ. Невольно возникаетъ вопросъ, удовлетворяла ли вполнѣ эта гипотеза самого ея основателя, на что съ увѣренностью можно отвѣтить отрицательно. Тѣмъ не менѣе для объясненія опыта Гримальди Ньютонъ приписывалъ свѣтовому лучу еще другія весьма удивительныя свойства. Мы ограничимся тѣмъ, что было сказано относительно Ньютоновой теоріи свѣта, и не станемъ говорить подробнѣе о его взглядахъ относительно искривленія лучей (диффракціи) и взаимнаго вліянія двухъ свѣтовыхъ лучей. Ньютонова теорія свѣта называется теоріей истеченія (теорія эманаціи, теорія свѣтовыхъ тѣлецъ), такъ какъ она предполагаетъ, что свѣтящееся тѣло испускаетъ маленькія матеріальныя тѣльца (corpuscula).

Въ настоящее время мы достовѣрно знаемъ, что допущеніе Ньютона было невѣрно. Свѣтъ не состоитъ изъ матеріальныхъ частицъ, испускаемыхъ источникомъ свѣта,—онъ представляетъ собою волнообразное движеніе, какъ объ этомъ догадывались Гримальди и Гукъ.

http://mathesis.ru

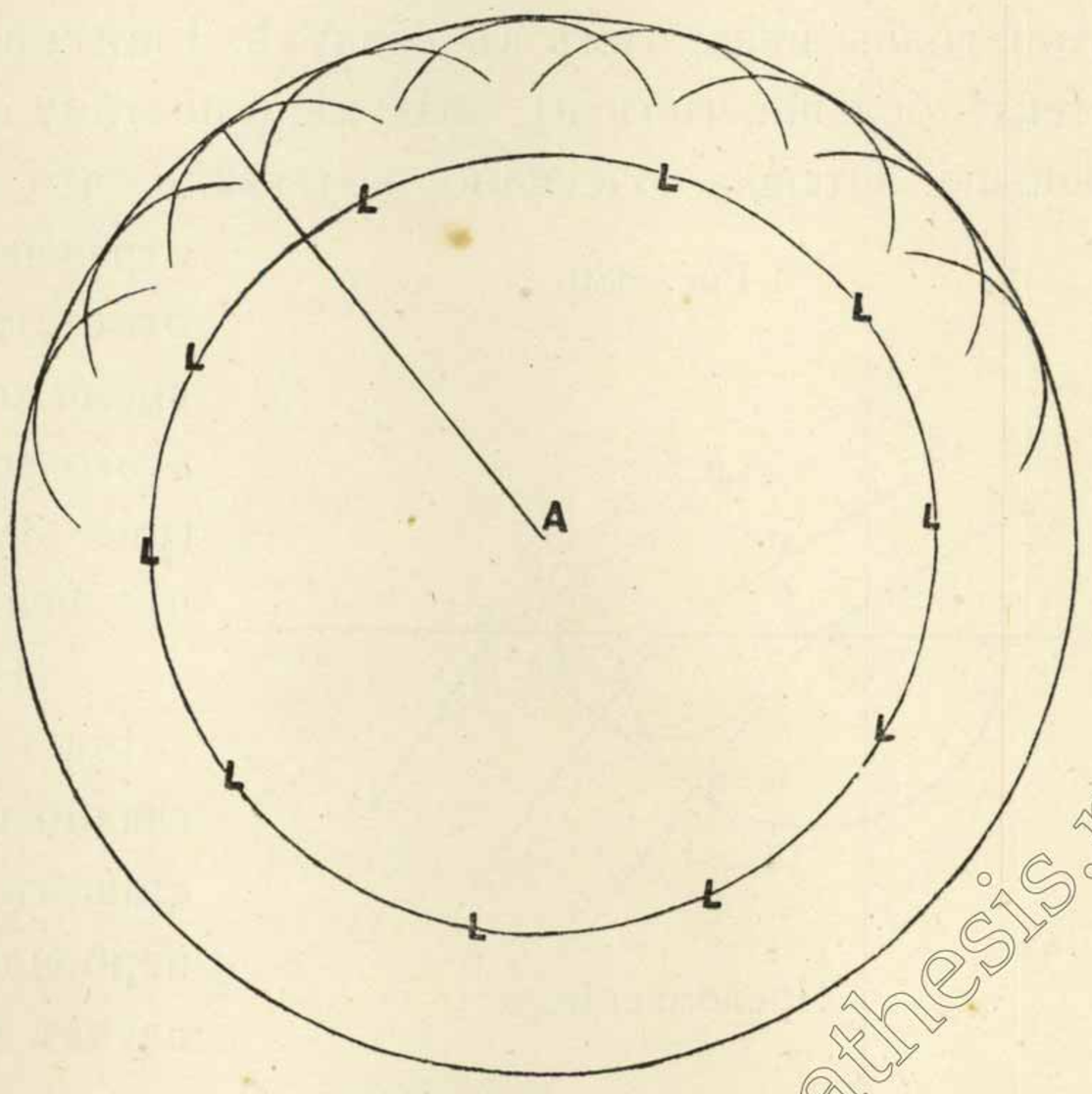
403. Впервые эта такъ называемая волнообразная теорія свѣта была ясно и исчерпывающимъ образомъ изложена Хр. Гюйгенсомъ. Его трудъ объ этомъ предметѣ появился въ печати въ 1690 году и еще въ 1678 году былъ сообщенъ Парижской Академіи. Ньютонъ былъ знакомъ съ нимъ, но не могъ рѣшиться отказаться отъ теоріи истеченія и перейти къ волнообразной теоріи. Это обстоятельство очень неблагопріятно повліяло на дальнѣйшее развитіе теоріи свѣта, такъ какъ ученики Ньютона упорно держались теоріи своего великаго учителя. Такимъ образомъ, Ньютонъ, говорившій: „я не создаю гипотезъ“, благодаря своему отрицательному отношенію къ Гюйгенсовой волнообразной теоріи сталъ причиной того, что теорія истеченія была возведена въ догматъ.

404. Теорія свѣта Гюйгенса въ краткихъ чертахъ состоитъ въ слѣдующемъ. Вся вселенная заполнена чрезвычайно тонкимъ и подвижнымъ веществомъ, такъ называемымъ эѳиромъ. Онъ проникаетъ всѣ тѣла и находится всюду. Міровое пространство представляетъ собой какъ бы огромное море эѳира. Если въ какомъ-либо мѣстѣ этого моря происходитъ нарушеніе равновѣсія, то отъ этого мѣста расходятся сферическія волны эѳира, подобныя кругамъ отъ брошеннаго въ воду камня (ср. § 349). Волнообразное движеніе эѳира обусловливается колебаніями его частичекъ такъ же, какъ воздушныя волны—колебаніями частицъ воздуха (§ 343).

То, что мы называемъ свѣтомъ, есть, согласно Гюйгенсу, волнообразное движеніе эѳира и свѣтящееся тѣло приводитъ частички эѳира въ колебанія, распространяющіяся по всей вселенной въ формѣ волнъ. Когда такая волна эѳира попадаетъ въ глазъ, частички эѳира поражаютъ зрительный нервъ и вызываютъ ощущеніе свѣта.

405. Если свѣтящаяся точка испускаетъ свѣтъ по всѣмъ направленіямъ, то это означаетъ, что нарушеніе равновѣсія эѳира, вызванное свѣтящейся точкой, распространяется по всѣмъ направленіямъ. Пусть A на рис. 378 будетъ свѣтящаяся точка. Если свѣтовая волна, исходящая изъ A, въ опредѣленный моментъ доходитъ до точекъ LL, то частички эѳира въ этихъ точкахъ произведутъ всѣ одновременно точно такія же движенія, какія совершала первоначально частичка въ точкѣ A. Можно поэтому разсматривать частички эѳира въ LL, какъ исходныя точки новыхъ волнъ, которыя спустя короткое время образуютъ маленькіе круги съ центрами въ точкахъ LL. Всѣ эти малыя волны вмѣстѣ образуютъ одну большую, объемлющую волну, поверхность которой будетъ концентрична съ поверхностью волны LL. Всякая прямая, исходящая изъ A, т. е. всякій радіусъ сферической волны, называется лучомъ. Когда волна отходитъ далеко

Рис. 378



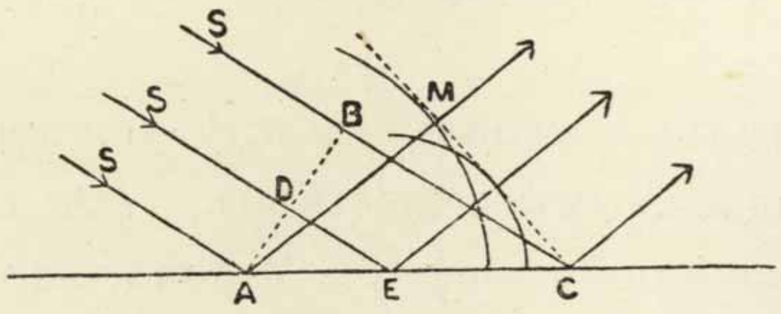
Начало Гюйгенса.

http://mathesis.ru

отъ точки A, малую часть ея можно разсматривать, какъ плоскость. Этой малой части поверхности волны соотвѣтствуетъ извѣстное количество лучей, которые можно считать параллельными. Поверхность волны параллельныхъ лучей есть плоскость, перпендикулярная къ направленію лучей.

406. Законъ отраженія Гюйгенсъ выводилъ изъ своей волнообразной теоріи слѣдующимъ образомъ. Пусть SS (Рис. 379) будетъ пучокъ свѣтовыхъ лучей, падающихъ на отражающую стеклянную поверхность. Поверхность волны перпендикулярна къ направленію лучей, которые поэтому достигаютъ отражающей поверхности не одновременно. Лучъ SA доходитъ первымъ, лучъ SB послѣднимъ. Въ тотъ моментъ, когда SA достигаетъ отражающей поверхности, A становится исходнымъ пунктомъ новой волны, распространяющейся отчасти въ воздухѣ, а отчасти въ стеклѣ (въ видѣ полусферъ). Пока лучъ SB проходитъ разстояніе отъ B до C, волна, исходящая изъ A, распространяется на такое же разстояніе, т. е. когда движеніе изъ B дошло до C, она образуетъ сферическую поверхность, радіусъ которой AM равенъ BC. Другой лучъ SDE дастъ волну вокругъ E и т. д. Пучокъ свѣтовыхъ лучей образуетъ, такимъ образомъ, рядъ сферическихъ волнъ, дающихъ вмѣстѣ въ тотъ моментъ, когда SB доходитъ до C, плоскую волну CM, распространяющуюся дальше такимъ же образомъ, какъ и падающая плоская волна AB. А такъ какъ направленіе лучей перпендикулярно къ поверхности волны, то отъ отражающей поверхности идетъ пучокъ лучей, образующихъ съ нею такой же уголъ, какой образуетъ падающій пучекъ лучей (треугольники ABC и AMC при наложеніи совпадаютъ). Уголъ отраженія, слѣдовательно, равенъ углу паденія (ср. § 350).

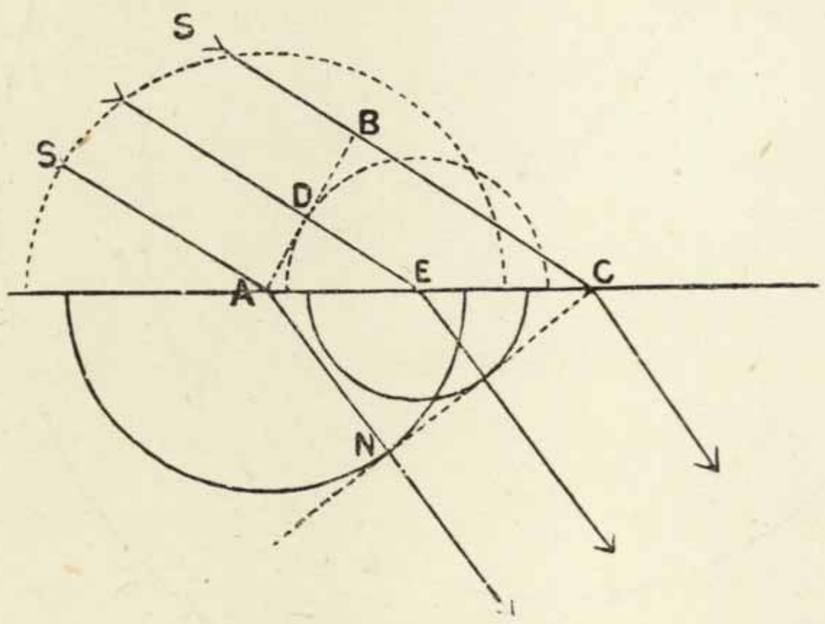
Рис. 379



Отраженіе.

Изъ точки A (рис. 380) идетъ также сферическая волна въ стекло. Но скорость этой волны иная, чѣмъ въ воздухѣ. Гюйгенсъ принимаетъ, что плотность эѳира въ стеклѣ больше, чѣмъ въ воздухѣ, и поэтому скорость распространенія волны въ стеклѣ меньше. Отсюда, очевидно, вытекаетъ, что радіусы волнъ, исходящихъ отъ точекъ отражающей поверхности, меньше радіусовъ соотвѣтствующихъ волнъ, идущихъ въ такое же время отъ этихъ точекъ въ воздухъ. Вслѣдствіе этого волны въ стеклѣ даютъ плоскую волну CN (рис. 380), которая распространяется далѣе такъ, что направленіе лучей есть AN.

Рис. 380



Преломленіе.

Измѣненіе направленія лучей при переходѣ свѣта изъ воздуха въ стекло можетъ быть наглядно пояснено слѣдующимъ сравненіемъ. Представимъ себѣ отрядъ солдатъ, марширующихъ перпендикулярно къ линіи фронта. Въ этомъ случаѣ преломляющей поверхности, т. е. границѣ между воздухомъ и стекломъ, будетъ соотвѣтствовать граница между ровнымъ, твердымъ грунтомъ и болѣе рыхлымъ, напримѣръ, свѣжевспаханнымъ полемъ. На твердомъ грунтѣ солдаты будутъ двигаться, конечно, быстрѣе.

http://mathess.ru

Если граница грунтовъ образуетъ уголъ съ линіей фронта, то солдаты передняго ряда вступятъ на вспаханное поле не одновременно. Вслѣдствіе этого и линія фронта и направленіе марша измѣнятся. Величина угла, образуемаго новымъ направленіемъ со старымъ, будетъ зависѣть отъ отношенія скоростей на твердомъ и на рыхломъ грунтѣ. Точно такъ же величина преломленія зависитъ отъ разницы въ плотности эѳира въ воздухѣ и въ другомъ веществѣ. Чѣмъ больше эта разница, тѣмъ сильнѣе преломленіе.

407. Слабое мѣсто труда Гюйгенса заключалось въ отсутствіи въ немъ объясненія происхожденія цвѣтовъ. Это, безъ сомнѣненія, и было однимъ изъ основаній, по которымъ Ньютонъ отнесся къ волнообразной теоріи отрицательно. Кромѣ того, онъ былъ противникомъ теоріи Гюйгенса потому, что считалъ, будто эѳиръ, какимъ бы подвижнымъ онъ ни былъ, долженъ былъ бы замѣтно замедлять движенія небесныхъ тѣлъ.

Эти затрудненія были разъяснены Леонардомъ Эйлеромъ (II, § 230) въ 1768 году, 41 годъ спустя послѣ смерти Ньютона. Эйлеръ возставалъ вообще противъ всей теоріи истеченія. По его мнѣнію, еслибы солнце дѣйствительно испускало матеріальное свѣтовое вещество, то масса его должна была бы постепенно уменьшаться. Затѣмъ, онъ не могъ представить себѣ, какъ свѣтовыя частички пробѣгаютъ пространство между солнцемъ и звѣздами, не сталкиваясь и не измѣняя своего направленія. Но труднѣе всего, по его мнѣнію, было согласовать теорію истеченія съ тѣмъ фактомъ, что существуютъ совершенно прозрачныя тѣла. Если свѣтъ есть нѣчто матеріальное, то свѣтовое вещество должно проходить сквозь прозрачныя тѣла, а такъ какъ эти тѣла пропускаютъ свѣтъ по всѣмъ направленіямъ, то въ нихъ должны существовать поры по всѣмъ направленіямъ, а между тѣмъ есть и плотныя прозрачныя тѣла. Эйлеръ писалъ свои статьи въ формѣ писемъ къ одной нѣмецкой принцессѣ и закончилъ свою бесѣду о теоріи истеченія слѣдующими словами: „я думаю, что приведенные доводы могутъ убѣдить Ваше Высочество въ томъ, что теорія истеченія не встрѣчаетъ никакого подтвержденія въ природѣ, и Ваше Высочество навѣрное будетъ удивляться тому, что подобное ученіе могло быть создано такимъ великимъ геніемъ (какъ Ньютонъ) и принято столь многими мыслителями съ яснымъ умомъ. Однако, уже Цицеронъ сказалъ, что ничего нельзя представить себѣ столь страннаго, чего бы не взялся утверждать какой-нибудь философъ. Но я, съ своей стороны слишкомъ мало философъ, чтобы раздѣлять это воззрѣніе на природу свѣта“.

Возраженіе Ньютона, что эѳиръ долженъ былъ бы мѣшать движенію небесныхъ тѣлъ, можно было бы привести, указывалъ Эйлеръ, съ такимъ же успѣхомъ и противъ свѣтового вещества, такъ какъ пространство, въ которомъ движутся планеты, вовсе не остается пустымъ и по Ньютоновой теоріи истеченія. Напротивъ того, оно наполнено частицами свѣта, которыя летятъ во всѣ стороны съ невѣроятной скоростью 40000 миль въ секунду и могутъ мѣшать бѣгу планетъ по меньшей мѣрѣ въ такой же степени, какъ и эѳиръ.

Эйлеръ считалъ огромную скорость свѣта болѣе понятной при допущеніи, что свѣтъ есть волнообразное движеніе въ легко подвижномъ эѳирѣ, чѣмъ въ предположеніи, что пространство наполнено матеріальными частичками, обладающими такой скоростью. Изъ ученія о звукѣ (ср. § 346) ему было извѣстно, что въ упругомъ тѣлѣ колебанія распространяются очень быстро. Если эѳиръ значительно тоньше

http://mathesis.ru

и подвижнѣе воздуха, то волны эѳира могутъ распространяться значительно быстрѣе, чѣмъ звуковыя волны. „Мы вѣдь знаемъ, что скорость звука тѣмъ больше, чѣмъ меньше плотность воздуха... Если мы вообразимъ себѣ воздухъ достаточно легкимъ и упругимъ, то можно представить себѣ, что скорость звука достигнетъ скорости свѣта“. Трудно было бы также понять, какимъ образомъ глазъ могъ бы переносить удары этихъ стремительно несущихся свѣтовыхъ частицъ.

Большое значеніе имѣло то обстоятельство, что Эйлеръ въ томъ же письмѣ къ нѣмецкой принцессѣ далъ объясненіе происхожденію цвѣтовъ на основаніи волнообразной теоріи. Онъ сравниваетъ цвѣта съ тонами. Относительно послѣднихъ ему было извѣстно, что высота тона находится въ зависимости отъ числа его колебаній (§ 336). Высокіе тоны соотвѣтствуютъ бо̀льшему числу колебаній, низкіе—меньшему. Эйлеръ предположилъ, что различные цвѣта находятся между собой въ такомъ же отношеніи, какъ и различные звуки. Какъ звукъ, свѣтъ состоитъ изъ колебаній, одинъ—изъ колебаній воздуха, другой—эѳира, и всякому цвѣту, такъ же, какъ и всякому звуку, отвѣчаетъ опредѣленное число колебаній.

Какъ можно измѣрять число колебаній свѣтовыхъ лучей, будетъ объяснено ниже (§ 410). Здѣсь же мы прослѣдимъ дальнѣйшія разсужденія Эйлера относительно цвѣтовъ.

Если на тѣло падаетъ лучъ свѣта и оно становится свѣтящимся, то это, по мнѣнію Эйлера, происходитъ не потому, что тѣло отражаетъ свѣтъ. Вліяніе лучей выражается въ томъ, что поверхность тѣла начинаетъ колебаться. Движеніе частичекъ эѳира сообщается частицамъ тѣла, расположеннымъ на поверхности. Эйлеръ разсматриваетъ поверхность тѣла, какъ струнный инструментъ, струны котораго приводятся въ движеніе волнами эѳира (ср. § 355). Если подобная „струна поверхности“ натянута такъ, что колеблется въ тактъ съ краснымъ цвѣтомъ, то поверхность тѣла мы называемъ красной. Чтобы сдѣлать красное тѣло свѣтящимся, необходимъ красный свѣтъ, такъ какъ только онъ можетъ привести въ движеніе поверхность краснаго тѣла. Свѣтъ другого цвѣта, т. е. съ другимъ числомъ колебаній, не можетъ привести въ колебаніе эту поверхность. Въ солнечномъ свѣтѣ, говоритъ Эйлеръ, должны содержаться всѣ цвѣта, такъ какъ онъ освѣщаетъ всѣ тѣла, какого бы то ни было цвѣта. Скорости колебаній Эйлеръ не могъ указать. То, что онъ высказывалъ, было, слѣдовательно, только гипотезой. Въ настоящее время нетрудно доказать справедливость этой гипотезы.

408. Но авторитетъ Ньютона былъ такъ великъ, что теорія истеченія сохранила свое господство до начала XIX столѣтія. Этотъ спорный вопросъ былъ снова поднятъ Томасомъ Йонгомъ въ 1800 г. въ Philosophical Transactions, органѣ Королевскаго Общества. Йонгъ родился въ 1773 г. въ Мильвертонѣ. Родители его жили бѣдно и принадлежали къ сектѣ квакеровъ. Благодаря поддержкѣ своего дѣда онъ посѣщалъ университеты въ Лондонѣ, Эдинбургѣ и Гёттингенѣ. Онъ изучалъ преимущественно медицину, но занимался также физическими и филологическими вопросами. Отъ 1801 до 1804 г. онъ былъ профессоромъ въ Royal Institution (Королевскомъ Институтѣ). Онъ оставилъ это мѣсто, чтобъ посвятить себя всецѣло врачебной дѣятельности. Но болѣе склонный къ чисто научнымъ работамъ, онъ снова увлекся филологіей и физическими науками, къ которымъ питалъ и раньше большой интересъ. Какъ филологъ, онъ составилъ ключъ къ чтенію іероглифовъ, въ качествѣ

http://mathesis.ru

же физика онъ дебютировалъ статьей о звукѣ. Здѣсь ему пригодились его медицинскія познанія и его тонкое пониманіе музыки. Съ 1818 г. онъ завѣдывалъ изданіемъ „Морского альманаха“ (Nautical Almanac). Онъ умеръ въ 1829 г. Изслѣдованія Йонга относятся ко всѣмъ областямъ физики. Одинъ его соотечественникъ написалъ о немъ слѣдующее: „Его талантъ былъ великъ, его работоспособность неутомима, его образъ жизни безупреченъ, къ своей религіи онъ былъ строгъ, но терпимъ“.

Рис. 381



Томасъ Йонгъ.

409. Статья Йонга, относящаяся къ 1800 г., трактовала о звукѣ и свѣтѣ. Онъ обратилъ вниманіе на два слабыхъ пункта въ Ньютоновой теоріи свѣта. Трудно понять, говоритъ онъ, какое объясненіе можетъ дать теорія истеченія тому факту, что свѣтъ изъ различныхъ источниковъ распространяется съ одинаковой скоростью. Какъ возможно допустить, что всѣ источники свѣта, какъ бы они ни были различны, испускаютъ частички свѣта одной и той же скорости. Такъ же мало соглашался Йонгъ и съ Ньютоновой теоріей періодическихъ превращеній свѣтовыхъ частичекъ въ лучѣ (§ 399), а безъ этихъ превращеній теорія истеченія не могла объяснить того явленія, что одинъ и тотъ же лучъ частью отражается, частью преломляется. Волнообразная теорія, напротивъ того, объясняла эти явленія удовлетворительно.

Наиболѣе важнымъ въ этой статьѣ было объясненіе происхожденія Ньютоновыхъ цвѣтныхъ колецъ интерференціей волнъ. Двѣ волны могутъ усиливать и ослаблять одна другую. Если онѣ имѣютъ одну и ту же длину, то больше всего усиливаютъ другъ друга тогда, когда разность хода волнъ равна четному числу полуволнъ, и больше всего ослабляются, когда эта разность равна нечетному числу полуволнъ (ср. § 354).

Въ своей статьѣ, относящейся къ 1800 г, Йонгъ объяснялъ происхожденіе Ньютоновыхъ цвѣтныхъ колецъ слѣдующимъ образомъ. Если монохроматическіе лучи *ss* (рис. 382) падаютъ на тонкую пластинку, то лучъ *sa* отклоняется къ *b*, отражается затѣмъ къ *c* и при выходѣ изъ пластинки преломляется еще разъ, такъ что выходитъ по направленію *cd*. Часть луча *sc* отражается отъ поверхности пластинки въ направленіи *cd*. Такимъ образомъ, лучъ *cd* является какъ бы двойнымъ лучомъ, т. е. по направленію *cd* идутъ двѣ волны, изъ которыхъ каждая прошла свой особый путь, одна — путь *sabcd*, другая — *scd*. Если разность этихъ путей равна четному числу полуволнъ, то эти два луча взаимно усиливаются; если же разность составляетъ нечетное число полуволнъ, то лучи взаимно ослабляются. Если же обѣ волны одинаково сильны, то въ послѣднемъ случаѣ онѣ уничтожаютъ другъ друга совершенно и по направленію *cd* движенія не происходитъ вовсе, а потому нѣтъ и никакого распространенія свѣта.

http://mathesis.ru

Эти соображенія, очевидно, легко приложимы къ опыту Ньютона (§ 398, рис. 377). Здѣсь тонкой пластинкой является слой воздуха между линзой и стеклянной пластинкой. Свѣтовые лучи идутъ по пути, указанному на рис. 382. Разность хода ихъ равна двойной толщинѣ слоя воздуха. Но такъ какъ послѣдняя возрастаетъ отъ середины къ краямъ, то отраженный свѣтъ будетъ состоять то изъ такихъ волнъ, которыя усиливаютъ другъ друга, то изъ волнъ, которыя ослабляютъ другъ друга. Такимъ образомъ, вокругъ темнаго пятна въ срединѣ линзы будутъ видны попеременно свѣтлыя и темныя кольца.

Что такое же явленіе долженъ давать также свѣтъ, проходящій сквозь линзу, слой воздуха и стеклянную пластинку, ясно изъ рис. 383. Лучи *Sabcde* и *Scde* оба выходятъ въ направленіи *de* и должны, смотря по обстоятельствамъ, усиливать или ослаблять другъ друга.—Сравнивъ два рисунка 382 и 383 легко увидѣть, что раз-

Рис. 382

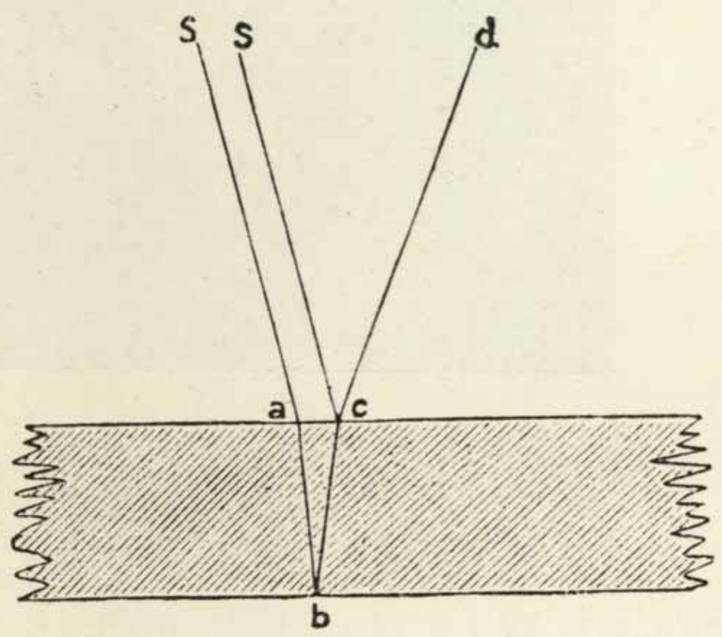
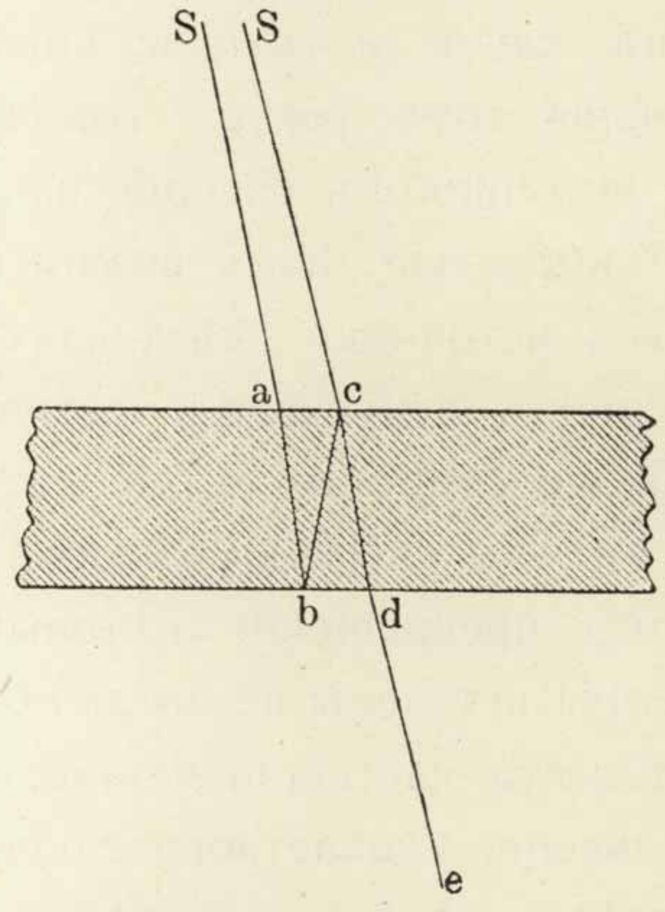


Рис. 383



Объясненіе Ньютоновыхъ цвѣтныхъ колецъ по Йонгу.

ность хода этихъ лучей одна и та же въ обоихъ случаяхъ. Такимъ образомъ, можно думать, что интерференція (усиленіе или ослабленіе) будетъ одна и та же въ обоихъ случаяхъ. На самомъ дѣлѣ, однако, отраженные лучи взаимно усиливаются тамъ, гдѣ проходящіе лучи ослабляютъ другъ друга, и наоборотъ. Йонгъ нашелъ причину и этого явленія. Именно, если волна эѳира отражается болѣе плотнымъ оптически веществомъ, т. е. если волна эѳира переходитъ изъ вещества, въ которомъ эѳиръ имѣетъ меньшую плотность, въ такое вещество, въ которомъ эѳиръ плотнѣе, то частица эѳира теряетъ полуволну.

Это согласуется съ явленіями удара упругихъ шаровъ. Когда частица эѳира въ своемъ колебательномъ движеніи ударяется о другую частицу эѳира въ какомъ-нибудь тѣлѣ, въ которомъ плотность эѳира больше, то здѣсь происходитъ то же, что имѣетъ мѣсто при ударѣ меньшаго шара о бо̀льшій: меньшій шаръ не оканчиваетъ своего колебанія, а отбрасывается, другими словами—онъ теряетъ полуволну (ср. рис. 338, I).

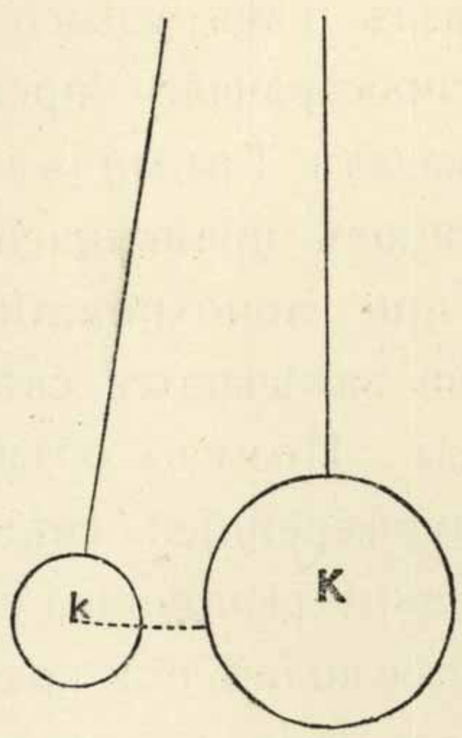
При образованіи Ньютоновыхъ колецъ и происходитъ такое отбрасываніе —на рис. 382 въ точкѣ *b*, а на рис. 383 въ точкахъ *b* и *c*. Такимъ образомъ, въ отраженномъ свѣтѣ лучъ теряетъ одну полуволну, а въ проходящемъ двѣ полуволны.

http://mathesis.ru

Значитъ, тамъ, гдѣ отраженные лучи взаимно уничтожаются, проходящіе лучи должны усиливать другъ друга.

410. Эти соображенія справедливы для монохроматическаго свѣта.—Ньютоновы кольца даютъ также средство измѣрить длину волны свѣта. Предположимъ, что нашъ опытъ производится съ красными лучами и что мы, согласно указанію Йонга, разсматриваемъ два послѣдовательныхъ кольца. Слой воздуха на мѣстѣ внѣшняго изъ этихъ двухъ колецъ долженъ быть на половину длины волны краснаго цвѣта толще, чѣмъ слой воздуха на мѣстѣ внутренняго кольца. Именно, въ этомъ случаѣ лучи, образующіе внѣшнее кольцо, должны быть въ томъ же состояніи интерференціи, какъ и тѣ, которые образуютъ внутреннее кольцо. Такъ какъ свѣтъ долженъ пробѣжать слой воздуха взадъ и впередъ, то пройденный имъ путь станетъ больше на цѣлую длину волны, когда толщина слоя воздуха увеличится только на одну полуволну. Но если волна смѣщается въ направленіи своего движенія на длину одной волны, то гребни и долины волнъ послѣ смѣщенія будутъ находиться на тѣхъ же мѣстахъ, на которыхъ они находились до смѣщенія.

Рис. 384



Потеря полуволны.

Но Ньютонъ точно измѣрилъ толщину воздушнаго слоя въ свѣтлыхъ и темныхъ мѣстахъ и Йонгъ сейчасъ же могъ опредѣлить и длину волны.—Разумѣется, что такимъ же образомъ, какимъ опредѣляется длина волны краснаго цвѣта, можно опредѣлить длину волны и всякаго другого цвѣта.

Если извѣстна величина длины волны и если извѣстно, съ какою скоростью распространяется волнообразное движеніе (въ данномъ случаѣ это—скорость свѣта), то можно вычислить число колебаній частицы эѳира, принимающей участіе въ этомъ движеніи. Именно, скорость равна произведенію длины волны на число колебаній (§ 341); такимъ образомъ можно получить число колебаній, раздѣливъ скорость на длину волны.

Но лучи различныхъ цвѣтовъ распространяются всѣ съ одною и тою же скоростью, около 300000 *км* (ср. § 287). Для среднихъ лучей различныхъ цвѣтовъ длины волнъ (въ доляхъ миллиметра) и числа колебаній даны въ слѣдующей таблицѣ:

	Длина волны		Число колебаній
Красный	0·000620	Красный	500 билліоновъ
Оранжевый . . .	0·000583	Оранжевый . . .	532 „
Желтый	0·000551	Желтый	562 „
Зеленый	0·000521	Зеленый	595 „
Синій	0 000475	Синій	653 „
Фіолетовый . . .	0·000423	Фіолетовый . . .	733 „

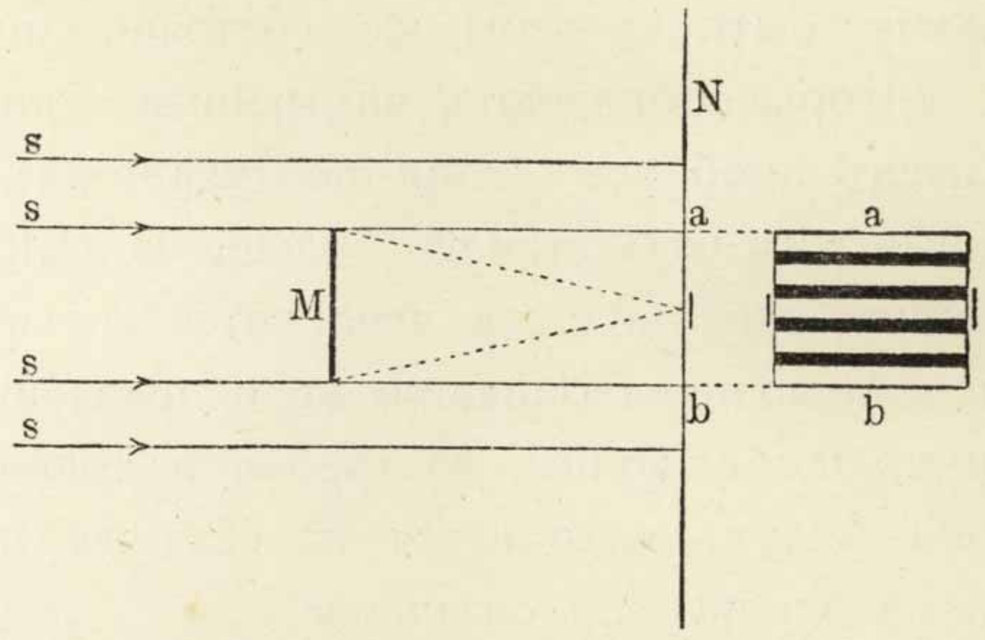
Красные лучи имѣютъ наибольшую длину волны и наименьшее число колебаній, фіолетовые—наименьшую длину волны и наибольшее число колебаній. Цвѣта видимаго солнечнаго спектра лежатъ въ предѣлахъ приблизительно одной октавы,

http://mathesis.ru

т. е. число колебаній крайнихъ фіолетовыхъ лучей превышаетъ число колебаній крайнихъ красныхъ лучей приблизительно вдвое.

411. Этимъ Йонгъ доказалъ справедливость гипотезы Эйлера, что каждый цвѣтъ имѣетъ опредѣленное число колебаній, подобно тонамъ. Но, какъ легко себѣ представить, онъ очень желалъ найти подтвержденіе своей теоріи какимъ-нибудь другимъ путемъ. Это и удалось ему при помощи явленія диффракціи. Йонгъ отбрасывалъ тѣнь узкаго экрана *M* (рис. 385) на большій экранъ *N*. Еслибы свѣтъ распространялся прямолинейно, то экранъ *M* отбрасывалъ бы тѣнь *ab*. Но, какъ показалъ Гримальди, свѣтъ отклоняется отъ прямолинейнаго пути (§ 393) и при монохроматическомъ свѣтѣ въ тѣни замѣчаются свѣтлыя и темныя полосы. Йонгъ объяснялъ эти полосы интерференціей свѣтовыхъ волнъ. Посрединѣ тѣни видна свѣтлая полоса. Свѣтовыя волны отъ краевъ экрана до этого мѣста проходятъ одинаковыя разстоянія. Поэтому онѣ приходятъ въ него въ одинаковой фазѣ и усиливаютъ другъ друга. По обѣ стороны этой свѣтлой полосы лежитъ по темной полосѣ, такъ какъ изъ этихъ мѣстъ разстояніе до одного края экрана на одну полуволну больше разстоянія до другого края. Поэтому лучи приходятъ сюда въ противоположныхъ фазахъ и ослабляютъ другъ друга. Затѣмъ идутъ двѣ свѣтлыхъ полосы, именно тамъ, гдѣ разность хода равна цѣлой длинѣ волны и гдѣ лучи поэтому усиливаютъ другъ друга и т. д. Такимъ образомъ, образованіе этихъ полосъ совершенно объясняется при помощи интерференціи. Измѣривъ разстояніе между двумя свѣтлыми полосами въ тѣни и зная разстояніе экрана *M*, отбрасывающаго тѣнь, отъ экрана *N*, Йонгъ могъ вычислить разность хода данныхъ лучей, а, значитъ, и длину волны. Такимъ образомъ, эти опыты являлись контролемъ тѣхъ результатовъ, которые были выведены изъ явленія Ньютоновыхъ колецъ. Если производить этотъ опытъ не съ монохроматическимъ свѣтомъ, а съ солнечнымъ, то вмѣсто темныхъ и свѣтлыхъ полосъ появятся цвѣтныя. Средняя полоса и въ этомъ случаѣ будетъ бѣлой, такъ какъ различные цвѣтные лучи солнечнаго свѣта достигаютъ этой средины въ одинаковой фазѣ и потому усиливаютъ другъ друга. Непосредственно около этой средней полосы уничтожаются прежде всего фіолетовые лучи, затѣмъ синіе, потомъ зеленые и т. д. Вслѣдствіе этого на соотвѣтственныхъ мѣстахъ появятся дополнительные цвѣта фіолетоваго, синяго, зеленаго и т. д. Эти цвѣта образуютъ такъ называемый диффракціонный спектръ.

Рис. 385



Опытъ Йонга съ интерференціей.

412. Работы Йонга, однако, не встрѣтили благопріятнаго пріема. Одинъ молодой англійскій физикъ подвергъ ихъ уничтожающей критикѣ, а старшіе современники Йонга не хотѣли знакомиться съ его теоріей, такъ какъ она была формулирована очень коротко и неудобопонятно. Йонгъ затруднялся также объяснить посредствомъ интерференціи, какимъ образомъ получаются Ньютоновы кольца въ проходящемъ свѣтѣ. А такъ какъ, кромѣ того, онъ не могъ объяснить новаго открытія,

http://mathesis.ru

которое сдѣлалъ въ 1810 году французскій физикъ Этьенъ Малюсъ, то онъ и самъ началъ сомнѣваться въ вѣрности своей теоріи.

413. Малюсъ (1775—1812) былъ военный инженеръ и въ чинѣ капитана былъ съ Наполеономъ въ Египтѣ. Въ 1809 году онъ сдѣлался преподавателемъ Политехнической школы въ Парижѣ, ученикомъ которой онъ былъ и самъ.

Своей славой физика Малюсъ обязанъ открытію, сдѣланному имъ во время работы надъ одной задачей о двойномъ преломленіи свѣта, предложенной на премію французской Академіей.—Онъ дѣлалъ опыты съ известковымъ шпатомъ (§ 395) и случайно взглянулъ черезъ пластинку известковаго шпата на Люксембургскій дворецъ, въ окнахъ котораго отражалось заходившее солнце. Къ своему изумленію Малюсъ увидѣлъ сквозь свою пластинку только одно изображеніе оконъ дворца. Вообще же предметы представлялись сквозь эту пластинку двойными. Такъ какъ здѣсь, очевидно, дѣло шло объ отраженномъ свѣтѣ, то для выясненія вопроса Малюсъ сталъ отбрасывать свѣтъ пламени на стеклянную пластинку или на поверхность воды и разсматривалъ этотъ отраженный свѣтъ сквозь пластинку известковаго шпата. Онъ нашелъ, что при одномъ опредѣленномъ положеніи этой пластинки отраженный свѣтъ не претерпѣваетъ двойного преломленія. При вращеніи пластинки двойное преломленіе обнаруживалось и два изображенія обыкновенно были не одинаково ярки. Только въ одномъ опредѣленномъ положеніи эти изображенія имѣли одинаковую яркость.

Это явленіе чрезвычайно напоминало другое, наблюдавшееся Гюйгенсомъ при разсматриваніи темной точки на бѣлой пластинкѣ сквозь двѣ пластинки известковаго шпата. Сквозь одну такую пластинку эта точка представлялась вдвойнѣ. Одно изображеніе было образовано обыкновенными лучами, другое—необыкновенными. Эти два рода лучей проходили затѣмъ и сквозь вторую пластинку. Если эта вторая пластинка находилась въ такомъ же положеніи, какъ и первая, то и тѣ и другіе лучи проходили сквозь нее, не раздѣляясь. Обыкновенный лучъ выходилъ и изъ второй пластинки обыкновеннымъ, а вышедшій изъ первой пластинки необыкновенный лучъ проходилъ вторую пластинку тоже, какъ необыкновенный. Но при вращеніи второй пластинки и тѣ и другіе лучи раздѣлялись и появлялось четыре изображенія темной точки.

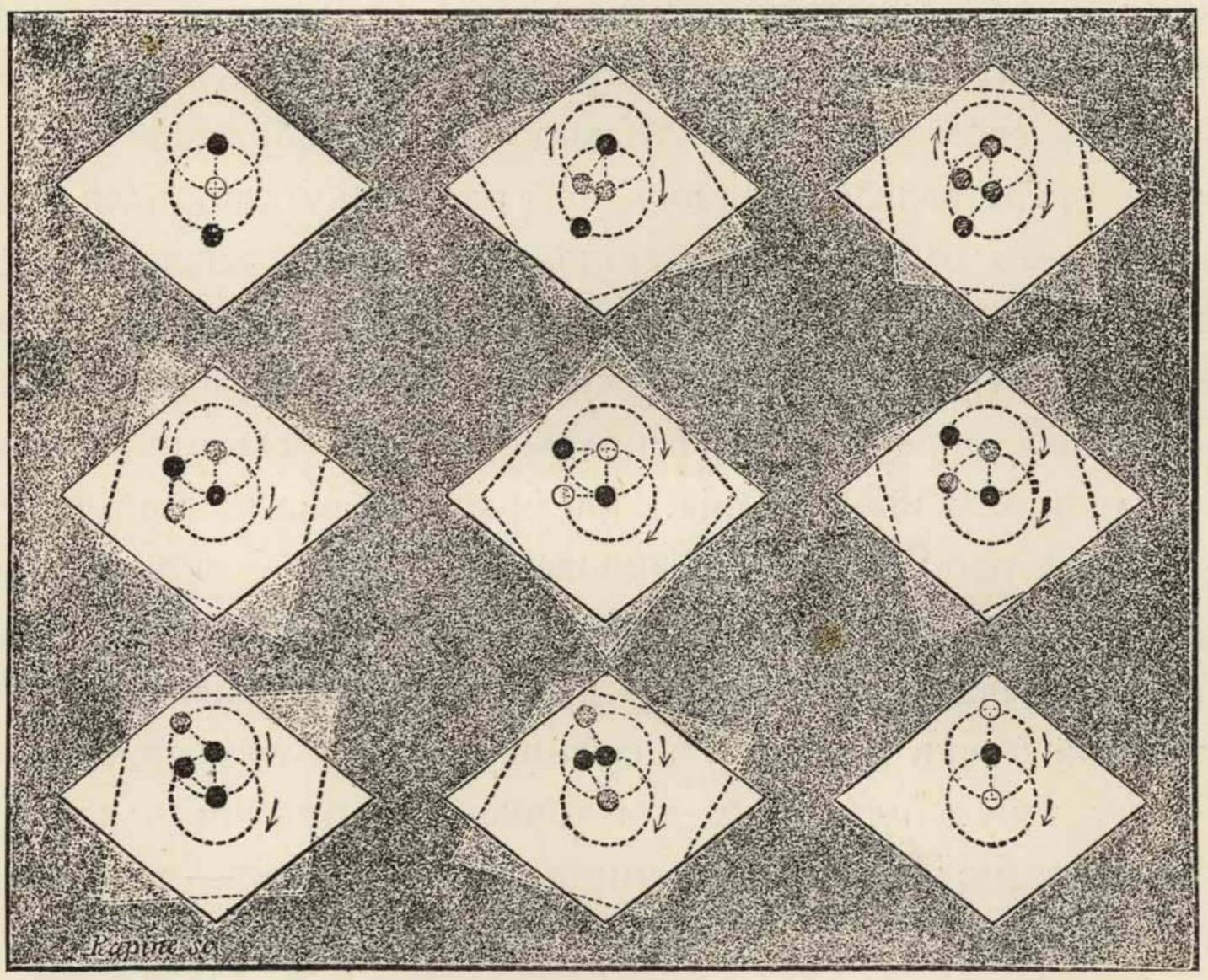
Этотъ опытъ поясняется рис. 386. Сначала двѣ пластинки известковаго шпата находятся въ одинаковомъ положеніи и потому видно только два изображенія. Затѣмъ верхняя пластинка повернута и мы видимъ четыре изображенія, сначала, однако, неодинаковой яркости. Послѣ поворота на 90^0 видны только два изображенія, при дальнѣйшемъ же вращеніи ихъ опять появляется четыре. Если пластинка повернута на 180^0 и если обѣ пластинки одинаковой толщины, то будетъ видно только одно изображеніе.

414. Этотъ опытъ ясно показываетъ, что свѣтъ, пройдя сквозь пластинку известковаго шпата, пріобрѣтаетъ своеобразныя свойства, которыхъ у обыкновеннаго свѣта нѣтъ, такъ какъ послѣдній въ известковомъ шпатѣ всегда преломляется двояко, если только онъ не идетъ въ направленіи оптической оси (§ 395). Болѣе точное изслѣдованіе можно произвести слѣдующимъ образомъ. Лучъ свѣта S (рис. 387) падаетъ на пластинку известковаго шпата A, главное сѣченіе которой совпадаетъ съ плоскостью рисунка, и раздѣляется на два луча S_1 и S_2. Одинъ изъ этихъ двухъ лучей, S_2, удерживается экраномъ, а другой S_1 (необыкновенный лучъ) проходитъ сквозь

http://mathesis.ru

отверстіе въ экранѣ M_1 и падаетъ на вторую пластинку B известковаго шпата. Послѣдняя, вообще говоря, раздѣляетъ лучъ S_1 на два луча S_3 и S_4, падающіе послѣ прохожденія сквозь собирательное стекло L, на экранъ M_2 въ точкахъ F и T_2. Если вращать пластинку B, то лучъ S_1 не подвергается двойному преломленію во второй пластинкѣ, когда главныя сѣченія этихъ двухъ пластинокъ лежатъ въ одной и той же плоскости. Когда эти главныя сѣченія образуютъ другъ съ другомъ уголъ въ 45°,

Рис. 386

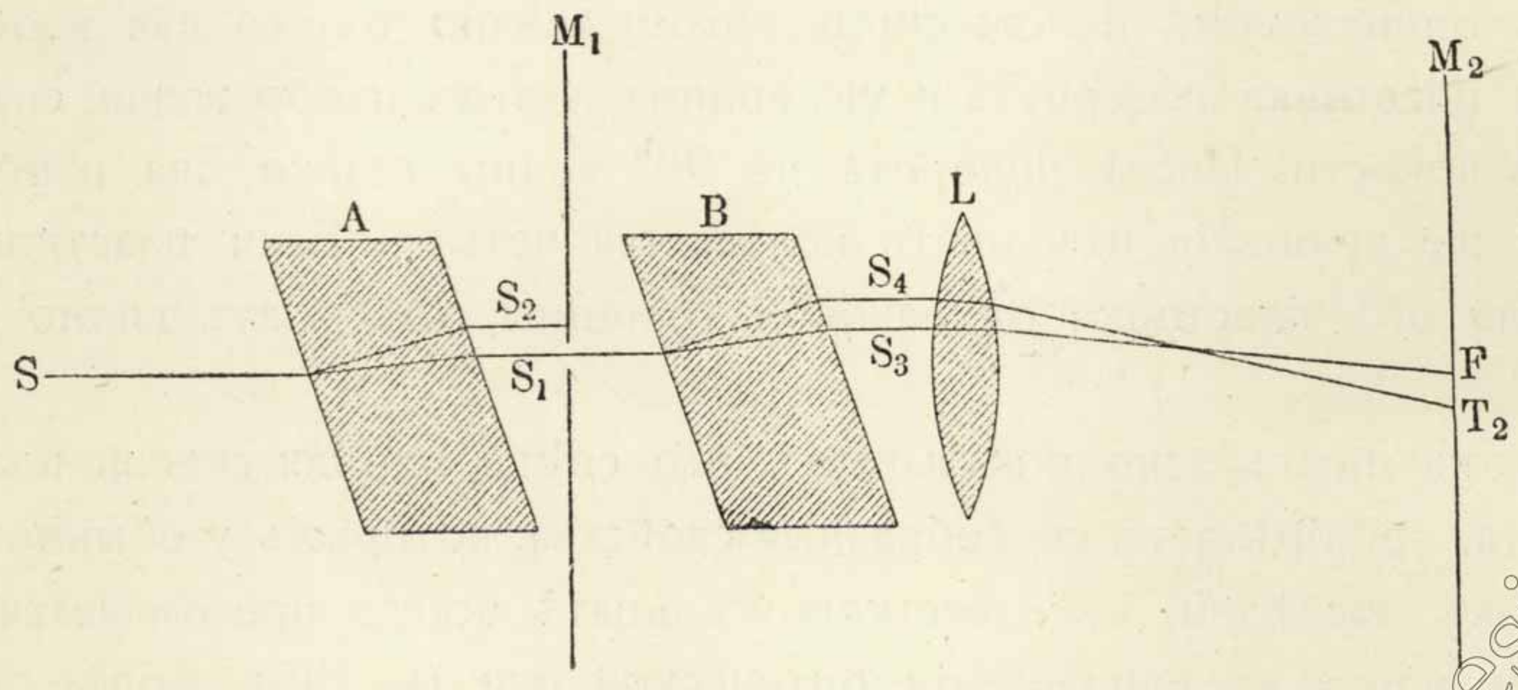


Двойное преломленіе въ известковомъ шпатѣ.

то два изображенія имѣютъ одинаковую яркость, а когда главныя сѣченія составляютъ между собою прямой уголъ, то лучъ S_1 совсѣмъ не раздваивается.

Если задержать экраномъ M_1 лучъ S_1 и пропустить лучъ S_2 (обыкновенный),

Рис. 387



Двойное преломленіе въ известковомъ шпатѣ.

то пластинка известковаго шпата окажетъ и на этотъ лучъ такое же дѣйствіе. Въ этомъ случаѣ также не будетъ двойного преломленія, когда главныя сѣченія обѣихъ пластинокъ известковаго шпата будутъ лежать въ одной плоскости. Не будетъ двой-

http://mathesis.ru

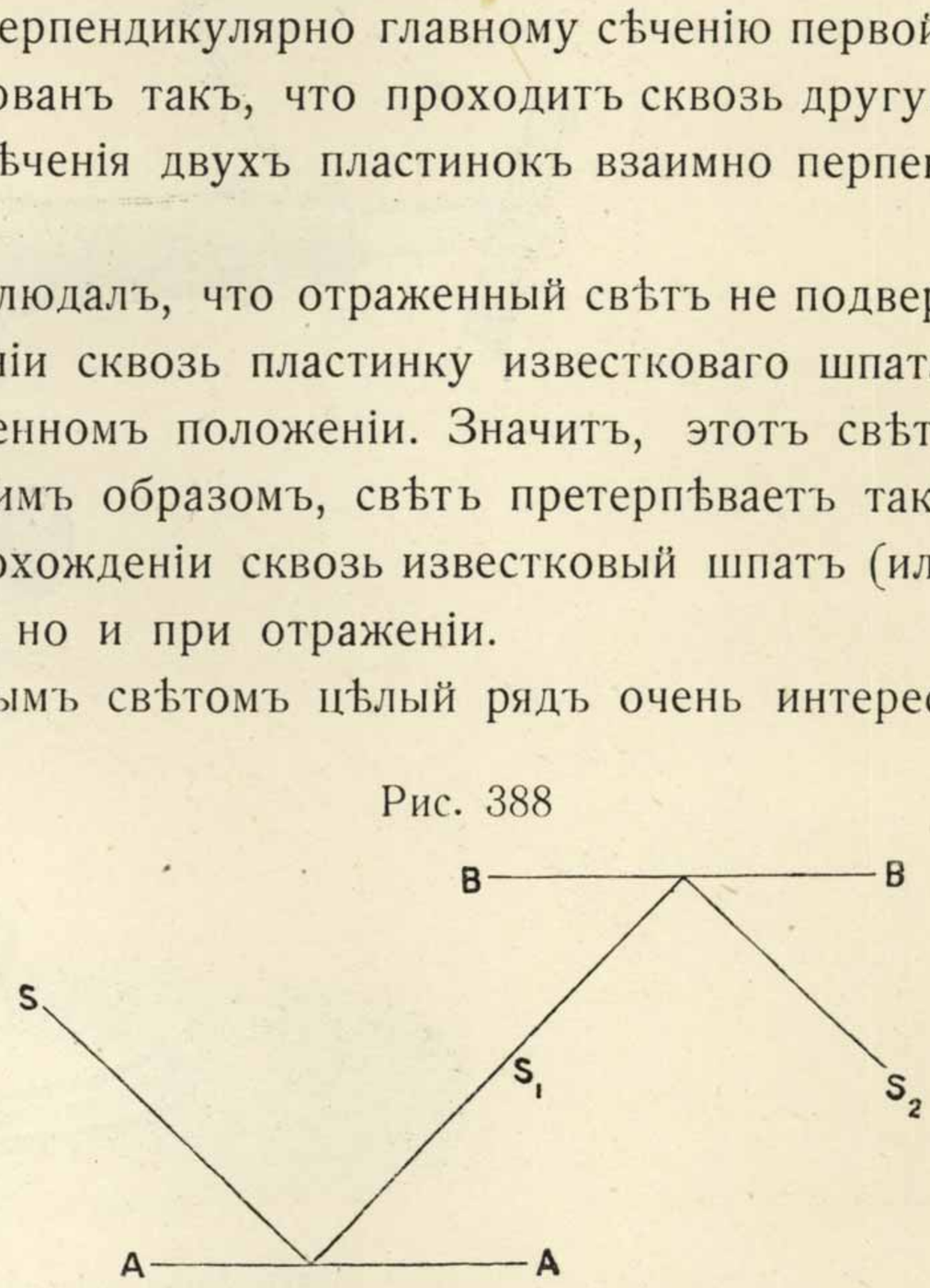
ного преломленія и тогда, когда главныя сѣченія будутъ составлять другъ съ другомъ прямой уголъ. Въ промежуточныхъ положеніяхъ будутъ получаться два изображенія неодинаковой яркости, за исключеніемъ того случая, когда главныя сѣченія будутъ наклонены другъ къ другу подъ угломъ въ 45°.

415. Ньютонъ, знавшій эти явленія, сказалъ, что свѣтъ при прохожденіи сквозь известковый шпатъ получаетъ различныя свойства по разныя стороны своего пути. Малюсъ примкнулъ къ этому воззрѣнію и назвалъ лучи, прошедшіе сквозь известковый шпатъ, поляризованными лучами. Обыкновенный лучъ поляризованъ такъ, что проходитъ сквозь другую пластину известковаго шпата необыкновеннымъ, если главное сѣченіе послѣдней пластинки перпендикулярно главному сѣченію первой. Необыкновенный лучъ, наоборотъ, поляризованъ такъ, что проходитъ сквозь другую пластинку обыкновеннымъ, когда главныя сѣченія двухъ пластинокъ взаимно перпендикулярны.

Но, какъ было сказано, Малюсъ наблюдалъ, что отраженный свѣтъ не подвергался двойному преломленію при прохожденіи сквозь пластинку известковаго шпата, если эта пластинка находилась въ опредѣленномъ положеніи. Значитъ, этотъ свѣтъ долженъ былъ быть поляризованнымъ. Такимъ образомъ, свѣтъ претерпѣваетъ такъ называемую поляризацію не только при прохожденіи сквозь известковый шпатъ (или сквозь другой двупреломляющій кристаллъ), но и при отраженіи.

Малюсъ произвелъ съ поляризованнымъ свѣтомъ цѣлый рядъ очень интересныхъ опытовъ. Пропуская лучъ свѣта, отраженный отъ зеркала *A* (рис. 388) и, слѣдовательно, поляризованный, на второе зеркало, параллельное первому, онъ нашелъ, что этотъ лучъ отражался вторымъ зеркаломъ обыкновеннымъ образомъ. Тогда онъ построилъ приборъ (рис. 389), который при помощи вращенія позволялъ давать второму зеркалу всевозможныя положенія. Если это зеркало устанавливалось такъ, что плоскости паденія обоихъ лучей были взаимно перпендикулярны, то свѣтъ не отражался отъ второго зеркала. Если эти двѣ плоскости составляли уголъ менѣе 90°, то свѣтовой лучъ отражался отчасти, т. е. онъ терялъ при отраженіи часть своей яркости. Металлическія зеркала для этого опыта не годятся. Лучше всего здѣсь простыя стеклянныя пластинки.

Рис. 388



Опытъ Малюса съ зеркалами.

Затѣмъ Малюсъ пускалъ на зеркало лучъ свѣта, прошедшій сквозь пластинку известковаго шпата. Если главное сѣченіе этой пластинки стояло перпендикулярно къ плоскости зеркала, то обыкновенный лучъ отражался, а необыкновенный не отражался. Наоборотъ, если главное сѣченіе пластинки было параллельно плоскости зеркала, то необыкновенный лучъ отражался, а обыкновенный не отражался. Эти два луча, обыкновенный и необыкновенный, какъ говорятъ, поляризованы во взаимно перпендикулярныхъ плоскостяхъ.

Позднѣе Малюсъ показалъ, что и при обыкновенномъ преломленіи, напримѣръ, въ стеклѣ, преломленный лучъ также поляризованъ и притомъ перпендикулярно къ отраженному лучу. Лучъ свѣта *S*, падая на стеклянную пластинку (рис. 390), частью

http://mathesis.ru

входитъ въ стекло, а частью отражается отъ него. Эти два луча, на которые разлагается падающій лучъ, поляризованы и притомъ перпендикулярно другъ къ другу.

Если эти два луча, отраженный и преломленный, совершенно поляризованы, то, какъ доказалъ Брустеръ, они поляризованы взаимно перпендикулярно. Въ этомъ случаѣ падающій лучъ SA образуетъ съ перпендикуляромъ въ точкѣ паденія уголъ

Рис. 389



Штативъ Малюса съ зеркалами.

опредѣленной величины, такъ называемый уголъ поляризаціи. Для стекла этотъ уголъ равенъ $56^1/_2{}^0$.

416. Какъ было уже упомянуто, Йонгъ не сумѣлъ объяснить поляризаціи при помощи волнообразной теоріи и Малюсъ удовольствовался объясненіемъ Ньютона, что, пройдя черезъ известковый шпатъ, свѣтъ пріобрѣтаетъ разныя свойства въ различныхъ направленіяхъ.

Рис. 390

Уголъ поляризаціи.

Волнообразная теорія одержала полную побѣду надъ теоріей истеченія только послѣ того, какъ опубликовалъ свои знаменитыя работы Огюстенъ Жанъ Френель. Какъ и Малюсъ, Френель сначала былъ инженеромъ. Потерявъ въ 1815 г., благодаря политическому перево-

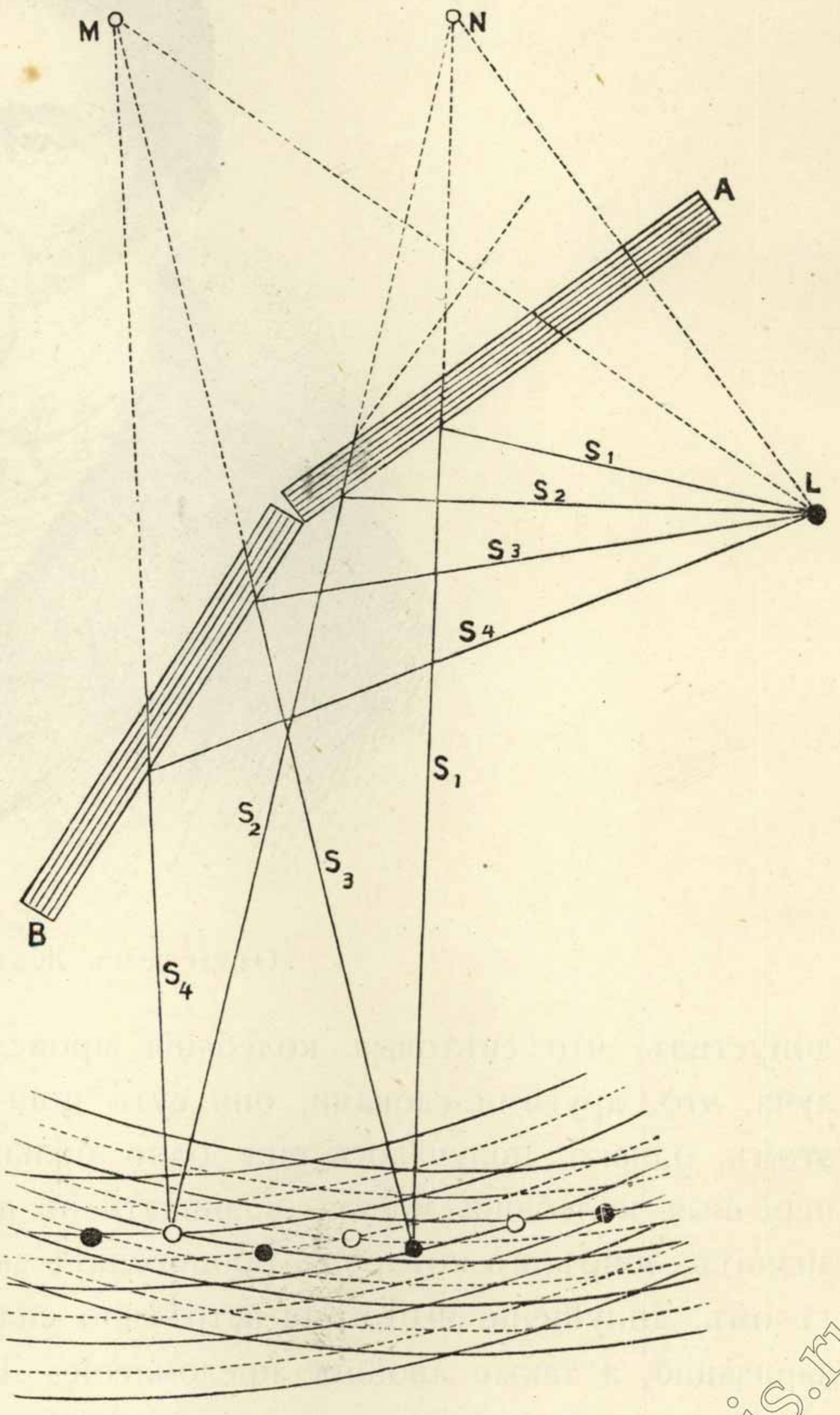
http://mathesis.ru

роту свое мѣсто, на которое онъ, впрочемъ, позднѣе былъ возвращенъ, Френель бросился на изученіе оптики и сталъ однимъ изъ самыхъ крупныхъ ученыхъ въ этой области. Къ сожалѣнію, онъ умеръ уже въ 1826 г. въ возрастѣ всего 39 лѣтъ.

Френель основательно переработалъ волнообразную теорію. Въ основу своей работы онъ положилъ начало, установленное Гюйгенсомъ (§ 405), что каждую точку поверхности волны можно разсматривать, какъ исходную точку новыхъ волнъ. Онъ объяснилъ диффракцію и повторилъ описанный въ § 411 опытъ Йонга для опредѣленія длины свѣтовой волны. Френель поставилъ этотъ опытъ въ такой геніальной формѣ, что окончательно рѣшилъ споръ о природѣ свѣта.

Пусть A и B (рис. 391) будутъ два зеркала, стоящихъ рядомъ подъ угломъ другъ къ другу приблизительно въ 180^0. Эти два зеркала отражаютъ свѣтъ, исходящій изъ свѣтящейся точки или, лучше, линіи (щели). Напримѣръ, лучъ S_1 будетъ отражаться отъ зеркала A, лучъ S_3 отъ зеркала B. Эти два луча S_1 и S_3 встрѣчаются въ опредѣленной точкѣ, но проходятъ отъ точки L до этой встрѣчи пути различной длины. Путь, пройденный первымъ лучомъ, равняется разстоянію точки N отъ мѣста пересѣченія лучей, путь, пройденный вторымъ лучомъ, равенъ разстоянію точки M отъ названной точки пересѣченія. Точка N есть изображеніе точки L въ зеркалѣ A, а M изображеніе точки L въ зеркалѣ B. И если разность хода этихъ двухъ лучей составляетъ нечетное число полуволнъ, то эти лучи взаимно уничтожаются. Если же она равна четному числу полуволнъ, то лучи усиливаютъ другъ друга. На глазъ эти лучи будутъ производить впечатлѣніе ряда свѣтлыхъ и темныхъ линій.

Рис. 391



Опытъ съ зеркалами Френеля.

Какъ легко видѣть изъ рис. 391, нетрудно вычислить разность хода и очень точно опредѣлить длину волны. Этотъ опытъ такъ „чистъ“ (ср. II, § 147), что противъ него едвали можно что-нибудь возразить. Онъ имѣетъ огромное преимущество передъ опытомъ Йонга въ томъ, что здѣсь оба интерферирующіе луча выходятъ изъ одного источника свѣта. Этотъ опытъ находитъ очень простое объясненіе въ волнообразной теоріи Гюйгенса, объяснить же его другимъ способомъ трудно.

417. Френель понялъ также и природу явленій поляризаціи. Вмѣстѣ съ Араго

http://mathesis.ru

(§ 286) онъ нашелъ, что два свѣтовыхъ луча, поляризованныхъ въ одной и той же плоскости, могутъ интерферировать между собою, но два луча, поляризованные въ перпендикулярныхъ плоскостяхъ, не могутъ. Отсюда Френель сдѣлалъ выводъ, что два луча, поляризованные въ перпендикулярныхъ плоскостяхъ, должны имѣть такія колебанія, которыя не дѣйствуютъ другъ на друга. — Какъ же можно представить это? Раньше принимали, что свѣтовыя колебанія происходятъ въ направленіи луча подобно тому, какъ звуковыя колебанія происходятъ въ направленіи движенія звука. Но если такъ, то всѣ свѣтовые лучи могли бы интерферировать другъ съ другомъ совершенно такъ, какъ могутъ интерферировать всѣ „лучи звука“.—Поэтому Френель

Рис. 392



Огюстенъ Жанъ Френель.

допустилъ, что свѣтовыя колебанія происходятъ перпендикулярно къ направленію луча, что, другими словами, они суть поперечныя колебанія, а не продольныя. При этомъ, однако, получалось еще одно большое затрудненіе: было извѣстно, что поперечныя колебанія могутъ возникать въ твердыхъ, но не въ жидкихъ тѣлахъ. А, значитъ, эѳиръ, въ которомъ происходятъ свѣтовыя колебанія, долженъ быть твердымъ тѣломъ. Допущеніе Френеля встрѣтило сильное сопротивленіе, но оно объясняло поляризацію, а также двойное преломленіе. Допущеніе поперечности колебаній, такимъ образомъ, оказалось во всякомъ случаѣ полезнымъ, но мы должны воздержаться пока отъ болѣе точнаго представленія природы эѳира. Уже теперь, впрочемъ, мы можемъ утверждать съ полнымъ правомъ, что эѳиръ не есть твердое тѣло въ обычномъ смыслѣ этого слова.

Итакъ, Френель опредѣлилъ разницу между обыкновеннымъ и поляризованнымъ свѣтомъ слѣдующимъ образомъ: въ обыкновенномъ свѣтѣ колебанія про-

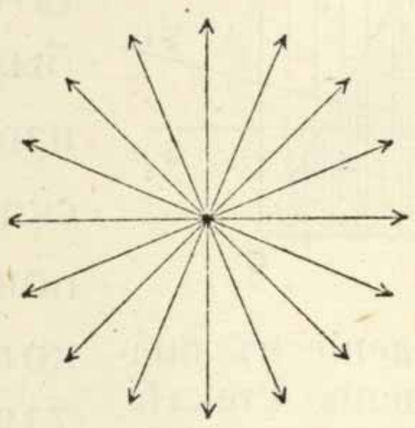
http://mathesis.ru

исходятъ перпендикулярно къ лучу по всѣмъ направленіямъ (рис. 393), въ поляризованномъ же свѣтѣ только въ одномъ опредѣленномъ направленіи, перпендикулярномъ къ лучу (рис. 394).

418. Френель допускалъ, какъ это раньше дѣлалъ Йонгъ, что двойное преломленіе обусловливается неодинаковой упругостью эѳира въ кристаллахъ по различнымъ направленіямъ.

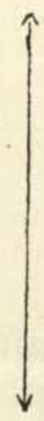
Когда свѣтовая волна проходитъ внутри тѣла, то волнообразное движеніе происходитъ въ эѳирѣ, заключающемся въ тѣлѣ. Между частицами тѣла (молекулами, II § 182) нужно воображать себѣ промежутки, въ которыхъ и находится эѳиръ. Когда эѳиръ приходитъ въ колебательное движеніе, то и молекулы не остаются безучастными, — онѣ также начинаютъ двигаться. Въ силу этого свѣтовая волна теряетъ часть своей силы, т. е. свѣтъ отчасти поглощается тѣломъ. Но то обстоятельство, что эѳиръ расположенъ въ множествѣ маленькихъ промежутковъ, производитъ одновременно то, что волнообразное движеніе въ этомъ тѣлѣ распространяется уже не съ той скоростью, какъ въ воздухѣ. Скорость свѣта въ твердыхъ и жидкихъ тѣлахъ меньше его скорости въ тѣлахъ газообразныхъ (§ 288). Въ нѣкоторыхъ твердыхъ тѣлахъ, которыя имѣютъ одинаковыя свойства по всѣмъ направленіямъ, какъ и жидкости, колебательное движеніе эѳира, т. е. свѣтовая волна, распространяется одинаково по всѣмъ направленіямъ. Эти тѣла аналогичны стеклу и не даютъ двойного лучепреломленія. Ихъ называютъ изотропными. Но есть и другія тѣла, которыя имѣютъ различныя свойства по различнымъ направленіямъ. Таковы кристаллы, не принадлежащіе къ правильной системѣ. Къ этимъ тѣламъ принадлежитъ и известковый шпатъ. Различія свойствъ кристалловъ по разнымъ направленіямъ обусловливаются формою молекулъ, изъ которыхъ состоятъ эти кристаллы. Допускаютъ, что молекулы имѣютъ ту же форму, какую имѣютъ сами кристаллы, построенные на осяхъ неравной длины. Нетрудно представить себѣ, что въ этихъ кристаллахъ по направленіямъ, отвѣчающимъ ихъ осямъ, существуютъ различныя напряженія и что вслѣдствіе этого эѳиръ получаетъ разную упругость по различнымъ направленіямъ.

Рис. 393



Обыкновенный свѣтъ.

Рис. 394



Поляризованный свѣтъ.

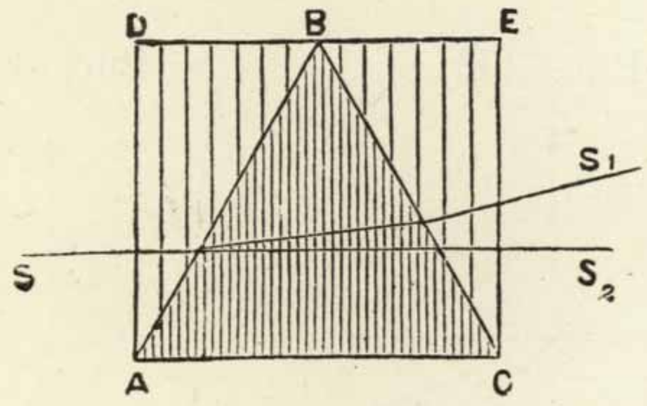
Направленіе луча перпендикулярно къ плоскости рисунка.

Вслѣдствіе этого возникаетъ двойное преломленіе. Волна падающаго луча раздѣляется на двѣ волны. Колебанія одной изъ этихъ волнъ идутъ по тому направленію, по которому упругость эѳира больше всего, колебанія другой волны въ направленіи, въ которомъ упругость эѳира меньше всего. Только когда свѣтовой лучъ идетъ по направленію оптической оси, двойного преломленія не получается, такъ какъ въ этомъ случаѣ колебанія происходятъ въ плоскости, перпендикулярной къ оси. А въ этой плоскости эѳиръ имѣетъ вездѣ одинаковую упругость.

Френель показалъ, что стекло также пріобрѣтаетъ способность двойного преломленія, если подвергнуть его давленію въ одномъ направленіи. Призма ABC (рис. 395) находится подъ сильнымъ давленіемъ, дѣйствующимъ на поверхности AC и DE. Средняя призма сдѣлана ахроматической при помощи двухъ боковыхъ призмъ ABD и CBE. Лучъ S испытываетъ двойное преломленіе и раздѣляется на два луча S_1 и S_2.

http://mathesis.ru

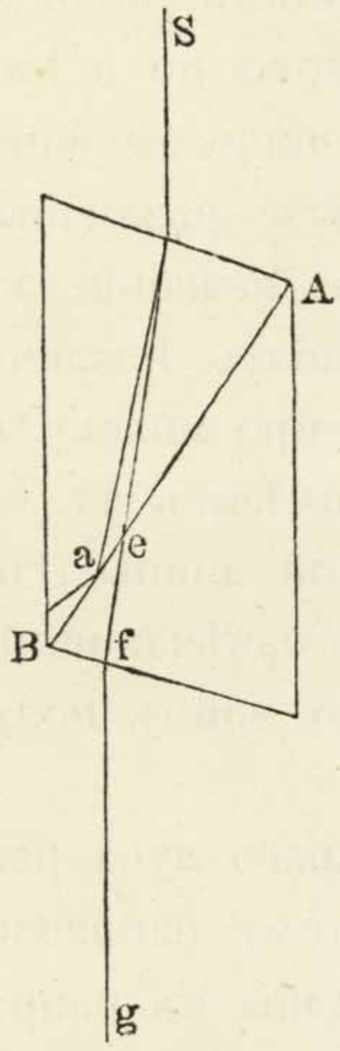
Этотъ опытъ подтверждаетъ допущеніе, что причиною двойного преломленія является неодинаковость упругости эѳира въ различныхъ направленіяхъ. Въ стеклянной призмѣ ABC между частицами стекла въ направленіи давленія существуетъ бо́льшее напряженіе, чѣмъ въ перпендикулярномъ къ нему.



Двойное преломленіе въ подвергнутомъ давленію стеклѣ.

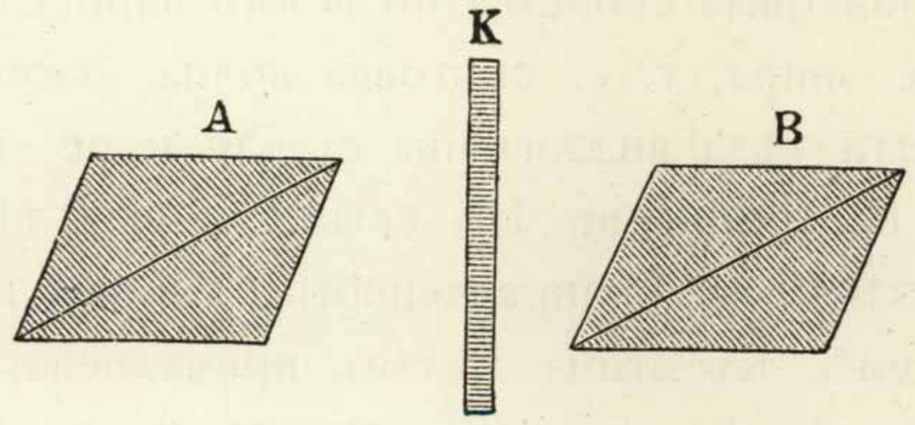
419. Съ помощью пластинки двупреломляющаго кристалла можно получить свѣтовой лучъ, колебанія котораго происходятъ только въ одной плоскости. Для этого нужно только задержать одинъ изъ двухъ лучей, на которые разлагается лучъ обыкновеннаго свѣта призмою известковаго шпата. Англійскій физикъ Вильямъ Николь (ум. 1851) достигъ этого, соединивъ двѣ призмы, которыя были получены разрѣзываніемъ на двѣ призмы кристалла известковаго шпата согласно указанному на рис. 396 и склейкою (канадскимъ бальзамомъ) ихъ отполированными поверхностями разрѣза. Вмѣсто плоскостей на концахъ, которыя образуютъ съ вертикальнымъ ребромъ уголъ въ 71°, отшлифовываются новыя поверхности подъ угломъ въ 68° къ ребру. Лучъ свѣта, падая на верхнюю поверхность, разлагается призмою на два луча, обыкновенный и необыкновенный. Послѣдній проходитъ сквозь слой бальзама въ другую призму и выходитъ изъ нея въ направленіи fg. Послѣ выхода

Рис. 396



Николева призма.

Рис. 397



Вращеніе плоскости свѣтовыхъ колебаній.

лучъ имѣетъ то же направленіе, какое онъ имѣлъ до входа въ призму. Напротивъ того, обыкновенный лучъ приходитъ къ границѣ между первой призмой известковаго шпата и слоемъ бальзама подъ такимъ угломъ, что въ точкѣ a претерпѣваетъ полное внутреннее отраженіе.

420. Если поставить двѣ такихъ Николевыхъ призму A и B (рис. 397) одну за другой, то свѣтовой лучъ, пройдя призму A, можетъ вступить въ призму B только въ томъ случаѣ, когда главныя сѣченія двухъ призмъ совпадаютъ. Но если главное сѣченіе одной призмы перпендикулярно къ другому главному сѣченію, то лучъ не можетъ вступить въ призму B (ср. § 413). Николь открылъ, однако, что немного свѣта все-таки проходитъ, если между этими двумя призмами помѣстить пластинку кварца. Это, очевидно, означаетъ, что плоскость колебаній поляризованнаго луча, выходящаго изъ первой призмы, при прохожденіи сквозь кварцевую пластинку слегка вращается, такъ какъ, пока колебанія происходятъ въ плоскости, опредѣляемой призмою A, они не могутъ переходить во вторую призму. Такое вращеніе плоскости поляризаціи производятъ многія вещества, между прочимъ, также

http://mathesis.ru

растворъ сахара. По величинѣ вращенія можно опредѣлять количество сахара въ растворѣ.

При обыкновенныхъ условіяхъ пластинка стекла не производитъ такого вращенія. Въ 1845 г. Фарадэй сдѣлалъ удивительное наблюденіе надъ вращеніемъ плоскости свѣтовыхъ колебаній. Онъ помѣстилъ между двумя Николевыми призмами стеклянную пластинку, которая находилась между полюсами сильнаго электромагнита. Оказалось, что подъ вліяніемъ магнитизма стекло пріобрѣтало способность вращать плоскость колебаній поляризованнаго свѣтового луча. Такимъ образомъ, Фарадэй открылъ связь между магнитизмомъ и свѣтомъ.

---

http://mathesis.ru

http://mathesis.ru

Спектральный анализъ

http://mathesis.ru

http://mathesis.ru

Спектральный анализъ

421. Цвѣта спектра, получаемаго при пропусканіи пучка солнечныхъ лучей сквозь призму, не чисты (ср. § 382). Отдѣльные цвѣта налагаются другъ на друга и получаются смѣшанные цвѣта.

Ньютонъ понималъ, что очень желательно получить чистый спектръ, въ которомъ цвѣта не налагались бы другъ на друга. Именно, въ чистомъ спектрѣ можно видѣть, существуютъ ли всѣ переходы цвѣтовъ отъ краснаго до фіолетоваго или же нѣкоторые изъ нихъ отсутствуютъ. Цвѣта въ чистомъ спектрѣ можно изслѣдовать гораздо тоньше и основательнѣе, чѣмъ въ „нечистомъ“. Ньютонъ пытался получить чистые цвѣта слѣдующимъ образомъ. Солнечный свѣтъ входилъ въ темную комнату сквозь узкую вертикальную щель A (рис. 398). Линза L должна была бы дать рѣзкое и отчетливое изображеніе щели A на экранѣ S, еслибы лучи распространялись безпрепятственно. Но позади линзы стояла призма P, отклонявшая и разсѣивавшая свѣтъ. Красные лучи собирались въ R, фіолетовые въ V, а остальные между R и V. При достаточно узкой щели каждый отдѣльный цвѣтной лучъ дастъ изображеніе въ видѣ линіи, т. е. получится чистый спектръ.

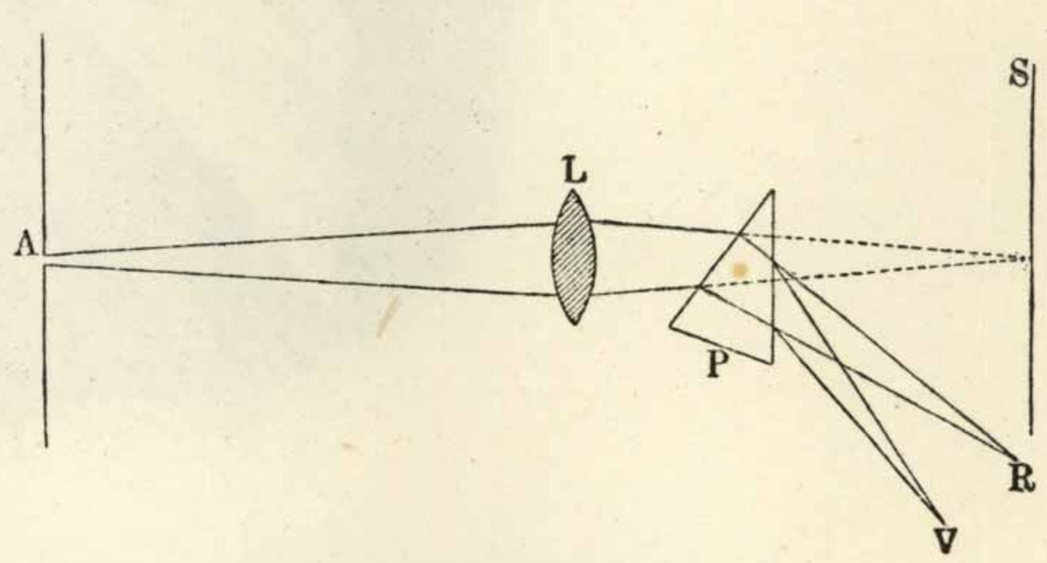


Рис. 398

Чистый спектръ Ньютона.

422. Ньютонъ догадывался, что чистый спектръ будетъ играть роль въ физикѣ будущаго. Онъ писалъ: „несомнѣнно, тотъ, кто будетъ внимательно и прилежно изслѣдовать эти вещи, не останется безъ богатыхъ плодовъ отъ своихъ трудовъ“.

Развитіе физики подтвердило эту догадку Ньютона. Мы уже знаемъ, что Ньютоново объясненіе возникновенія цвѣтовъ разсѣяніемъ свѣта (§ 383) сдѣлало возможнымъ изготовленіе ахроматическихъ линзъ, слѣдствіемъ чего явилось значительное улучшеніе зрительной трубы и микроскопа. Тщательное же изслѣдованіе чистаго спектра привело къ совершенно новой наукѣ, которая позволяетъ извлекать указанія на природу источника свѣта изъ свѣтовыхъ лучей, посылаемыхъ этимъ источникомъ.

423. Въ 1802 году англійскій физикъ Вильямъ Вульстенъ (1766—1828) опубликовалъ работу о преломляющей и разсѣивающей способности различныхъ тѣлъ. Въ этой работѣ онъ сообщалъ, что солнечный спектръ не представляетъ непрерывнаго ряда всѣхъ цвѣтовъ отъ краснаго до фіолетоваго, но что онъ перерѣ-

http://mathesis.ru

зывается множествомъ темныхъ линій, идущихъ параллельно щели, посылающей свѣтъ (сквозь линзу *L*) къ призмѣ (рис. 398). То же самое онъ наблюдалъ въ спектрахъ, даваемыхъ различными раскаленными тѣлами. И здѣсь спектръ не былъ непрерывнымъ, а состоялъ изъ свѣтлыхъ полосъ съ темными промежутками.

424. Вульстенъ не могъ объяснить происхожденія этихъ темныхъ линій. Это явленіе было изслѣдовано точнѣе Іосифомъ Фраунгоферомъ. Фраунгоферъ родился въ 1787 году въ Штраубингѣ, гдѣ его отецъ былъ стекольнымъ мастеромъ.

Рис. 399



Іосифъ Фраунгоферъ.

По смерти родителей, въ возрастѣ 11-ти лѣтъ онъ поступилъ въ ученіе къ шлифовальщику стеколъ Вейксельбергеру въ Мюнхенѣ. Ученіе должно было продолжаться шесть лѣтъ и хозяинъ требовалъ отъ Фраунгофера такъ много, что онъ даже ни разу не могъ посѣтить воскресную школу. Приключившійся съ нимъ несчастный случай послужилъ причиной улучшенія его обстоятельствъ.

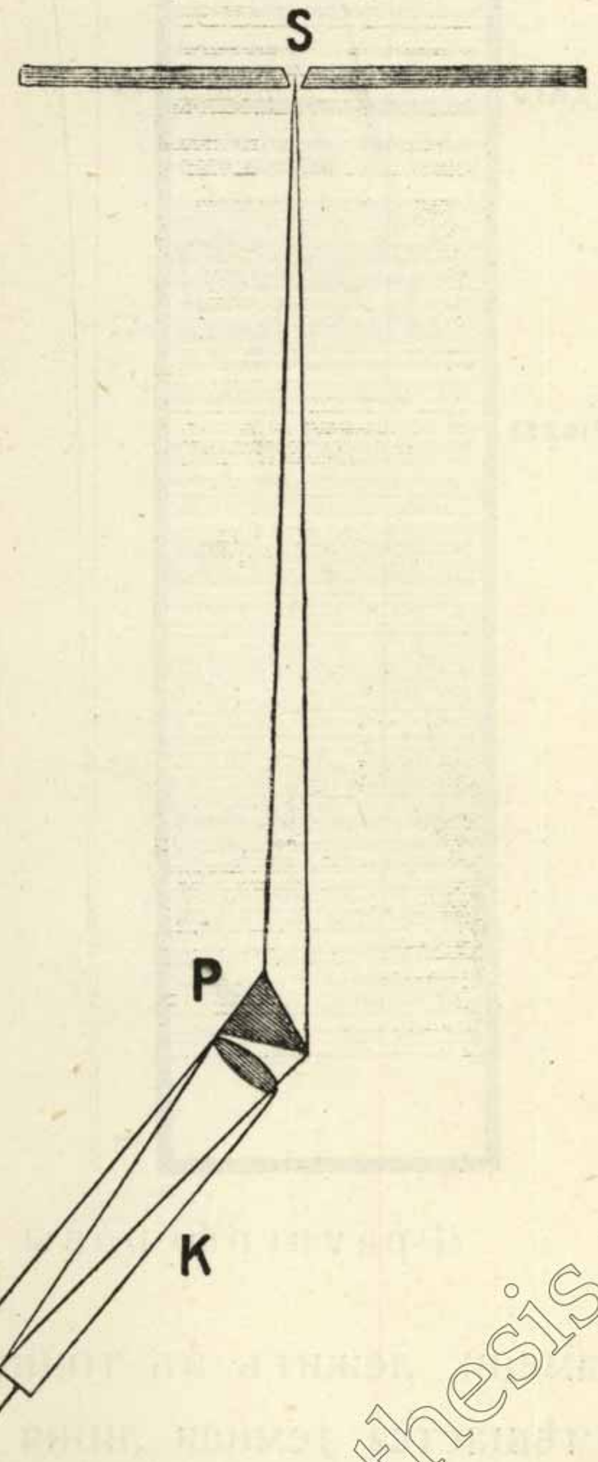
Домъ его хозяина обрушился и молодой Фраунгоферъ былъ засыпанъ обломками. Во время работы по его откапыванію на мѣсто несчастія попалъ наслѣдный принцъ. Онъ принялъ участіе въ мальчикѣ и подарилъ ему довольно значительную сумму денегъ. Теперь Фраунгоферъ откупился отъ своего хозяина и пріобрѣлъ себѣ машину для шлифованія стеколъ, чтобы работать на собственный страхъ. Не найдя, однако, достаточно работы, онъ поступилъ помощникомъ въ механическую мастерскую Утцшнейдера. Здѣсь онъ вскорѣ показалъ себя необычайно искуснымъ шлифовальщикомъ. Его первой задачей была шлифовка линзъ для обсерваторіи въ Офенѣ. Эта и нѣсколько другихъ работъ такъ великолѣпно удались ему, что Утц-

http://mathesis.ru

шнейдеръ принялъ въ 1809 году молодого Фраунгофера въ компаньоны по своему оптическому институту.

Теперь Фраунгоферъ имѣлъ возможность заняться своимъ образованіемъ. Онъ взялся за математику и особенно за оптику. Для того чтобы имѣть возможность изготовлять возможно совершенныя ахроматическія линзы, онъ сталъ искать въ спектрѣ опорныхъ точекъ, которыя позволили бы ему опредѣлять свѣторазсѣяніе лучей различнаго цвѣта для разныхъ сортовъ стекла съ возможной точностью. Дѣленіе спектра, указанное Ньютономъ, предполагало, что его длина можетъ быть точно опредѣлена; Фраунгоферъ, однако, нашелъ, что нѣтъ никакой возможности указать для спектра опредѣленныя границы. Поэтому онъ старался найти такіе источники свѣта, которые испускали бы только одинъ сортъ цвѣтныхъ лучей, т. е. монохроматическій свѣтъ. Спектръ такого рода источниковъ свѣта долженъ былъ бы состоять только изъ одной линіи. А еслибы ему удалось найти, напримѣръ, простой желтый и простой синій свѣтъ, то онъ могъ бы изъ опыта опредѣлить величины преломленія этихъ цвѣтныхъ лучей. Такихъ источниковъ свѣта Фраунгоферъ, однако, не нашелъ. Зато онъ открылъ, что въ спектрѣ маслянаго и спиртоваго пламени всегда есть отчетливая желтая линія въ одномъ и томъ же мѣстѣ спектра. Въ этой желтой линіи онъ имѣлъ теперь одну опорную точку. Но для того чтобы имѣть возможность опредѣлить величины разсѣянія, ему нужно было нѣсколько такихъ линій. Поэтому онъ продолжалъ свои изслѣдованія и между прочимъ тщательно изучалъ спектръ солнечнаго свѣта. При этихъ наблюденіяхъ онъ пользовался увеличительнымъ стекломъ и достигъ болѣе точныхъ результатовъ, чѣмъ кто бы то ни было изъ предшествующихъ наблюдателей.

Рис. 400



Изслѣдованіе солнечнаго спектра Фраунгоферомъ.

Фраунгоферъ пропускалъ солнечный свѣтъ сквозь узкую щель *S* (рис. 400) въ темную комнату и здѣсь принималъ его на призму *P*. По выходѣ изъ призмы лучи вступали въ зрительную трубу *K*. Объективъ этой трубы давалъ въ полѣ зрѣнія чистый спектръ, который разсматривался окуляромъ, какъ увеличительнымъ стекломъ.

Зрительную трубу нужно устанавливать такъ, чтобы въ ней получалось отчетливое изображеніе щели. Если преломленный свѣтъ, попадающій въ зрительную трубу, состоитъ изъ лучей, которые претерпѣли всѣ одинаковое преломленіе, то будетъ видно только одно изображеніе щели въ видѣ линіи. Но солнечный спектръ состоитъ изъ лучей различной преломляемости и каждый цвѣтъ даетъ отдѣльное изображеніе щели. Такимъ образомъ спектръ получается въ чистомъ видѣ.

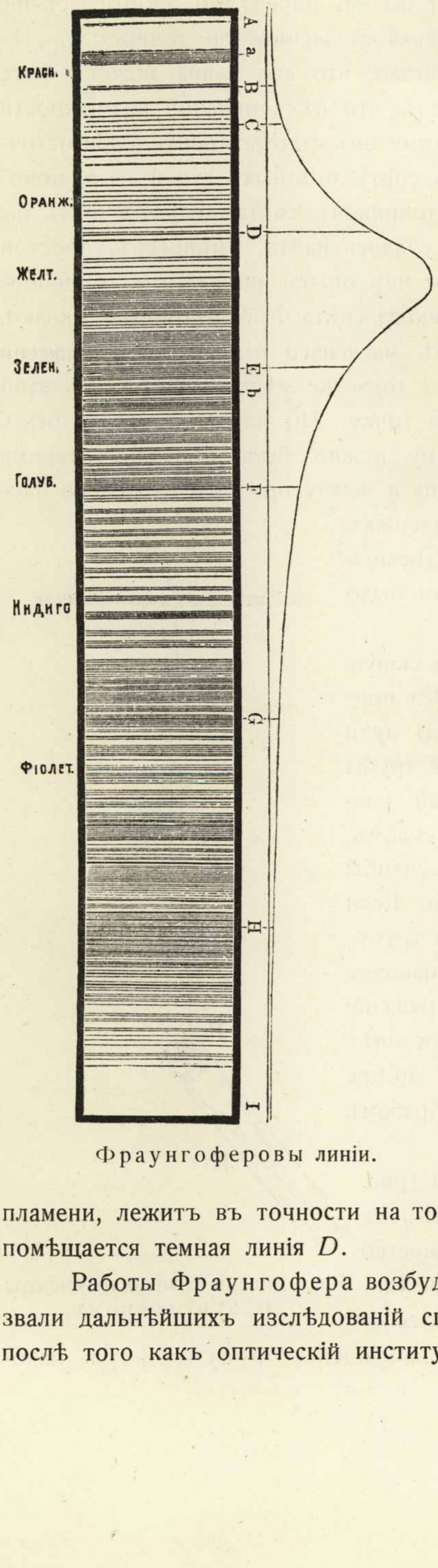
Фраунгоферъ далъ приложенный рисунокъ (рис. 401) увеличеннаго спектра, который онъ наблюдалъ въ свою зрительную трубу. Въ немъ онъ нашелъ множество тѣхъ опорныхъ точекъ, которыхъ онъ искалъ. Именно, перпендикулярными темными линіями спектръ дѣлился на множество полосъ различной ширины. Повторяя наблюденія, Фраунгоферъ нахо-

http://mathesis.ru

дилъ темныя линіи всегда на однихъ и тѣхъ же мѣстахъ. Онѣ являются характерными для солнечнаго свѣта.

Присутствіе темныхъ линій въ спектрѣ солнца, очевидно, обозначаетъ, что въ солнечномъ свѣтѣ нѣтъ нѣкоторыхъ цвѣтныхъ лучей. Въ самомъ дѣлѣ, еслибы въ немъ были всѣ переходы цвѣтовъ отъ крайняго краснаго до крайняго фіолетоваго, то спектръ долженъ былъ бы быть непрерывнымъ (сплошнымъ).

Рис. 401



Фраунгоферовы линіи.

Нѣкоторыя изъ этихъ Фраунгоферовыхъ линій, какъ были названы темныя линіи солнечнаго спектра по имени открывшаго ихъ, значительно шире другихъ. Между ними особенно замѣтны восемь линій, обозначенныхъ буквами *A*, *B*, *C*, *D*, *E*, *F*, *G*, *H*. Фраунгоферъ насчиталъ въ общемъ свыше 500 линій.

Теперь Фраунгоферъ имѣлъ въ своемъ распоряженіи превосходное вспомогательное средство для приготовленія ахроматическихъ линзъ,—онъ могъ мѣрять коэффиціенты преломленія пары такихъ линій въ различныхъ сортахъ стекла и вычислять изъ нихъ радіусы кривизны своихъ линзъ.

425. Само собою разумѣется, что темныя линіи спектра глубоко интересовали открывшаго ихъ Фраунгофера. Онъ убѣдился, что причина ихъ лежитъ не въ диффракціи свѣта. Онъ сталъ изслѣдовать свѣтъ другихъ небесныхъ тѣлъ и нашелъ, что спектры луны и планетъ содержатъ тѣ же самыя темныя линіи, что и солнечный свѣтъ, тогда какъ спектры неподвижныхъ звѣздъ отличаются отъ спектра солнца. Отсюда было ясно, что темныя линіи представляли характерную особенность солнечнаго свѣта независимо отъ того, достигаетъ ли онъ насъ непосредственно или уже послѣ отраженія отъ поверхности планеты.

Въ тѣхъ же работахъ (1814 и 1815 гг.) Фраунгоферъ сообщилъ и другое важное наблюденіе, а именно, что свѣтлая линія, которую онъ замѣтилъ въ спектрѣ маслянаго пламени, лежитъ въ точности на томъ же самомъ мѣстѣ, гдѣ въ солнечномъ спектрѣ помѣщается темная линія *D*.

Работы Фраунгофера возбудили мало вниманія въ кругахъ физиковъ и не вызвали дальнѣйшихъ изслѣдованій спектровъ. Однако, онъ продолжалъ свои работы, послѣ того какъ оптическій институтъ былъ переведенъ, въ 1818 г., изъ Бенедикт-

http://mathesis.ru

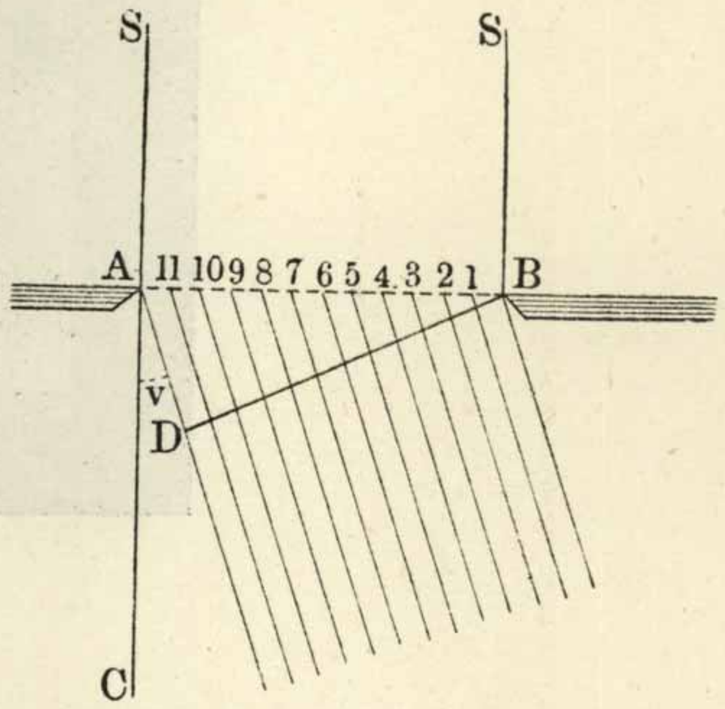
бейрена въ Мюнхенъ, гдѣ Фраунгоферъ былъ удостоенъ званія профессора и выбранъ членомъ Академіи.

Главный предметъ его изслѣдованій продолжали составлять темныя линіи солнечнаго спектра. Для полученія спектра Фраунгоферъ сталъ пользоваться не только призмами, но и такъ называемой оптической рѣшеткой.

426. Выше мы видѣли (§ 411), что спектръ можно получить при помощи диффракціи свѣта.

На узкую щель AB, на рис. 402 сильно увеличенную, падаетъ пучокъ лучей SS монохроматическаго свѣта. Въ самой щели, т. е. на линіи AB, отдѣльные лучи находятся въ одной и той же фазѣ колебанія и изъ каждой точки отрѣзка AB, согласно началу Гюйгенса, выходятъ новыя свѣтовыя волны. Если экранъ, на который падаетъ этотъ спектръ, находится такъ далеко отъ щели, что всѣ линіи отъ AB до экрана можно считать параллельными, то, очевидно, то мѣсто экрана, которое приходится прямо противъ щели, получитъ лучи въ одной и той же фазѣ колебанія и потому будетъ сильно освѣщено.—Иначе будетъ обстоять дѣло, однако, въ мѣстахъ, на которыя попадаютъ лучи, уклоненные (въ силу диффракціи) отъ первоначальнаго направленія. Тѣ лучи, напримѣръ, которые образуютъ съ первоначальнымъ направленіемъ лучей SA уголъ v, будутъ проходить неодинаковые пути отъ щели до экрана. Разсмотримъ внимательнѣе нѣсколько отдѣльныхъ лучей, обозначенныхъ на рисункѣ цифрами отъ 1 до 12. Разность хода двухъ крайнихъ лучей, или отрѣзокъ AD, пусть будетъ равна длинѣ цѣлой волны. Въ этомъ случаѣ средній лучъ, обозначенный числомъ 6, долженъ пройти полуволной больше, чѣмъ крайній лучъ у B. Слѣдовательно, если послѣдній даетъ на экранѣ гребень волны, то лучъ 6 производитъ долину волны. Такимъ образомъ, дѣйствія этихъ двухъ лучей взаимно уничтожатся. Такимъ же образомъ попарно уничтожаются лучи 1 и 7, 2 и 8, 3 и 9, 4 и 10, 5 и 11. Весь этотъ пучекъ лучей, слѣдовательно, не вызоветъ на экранѣ никакого дѣйствія въ силу интерференціи отдѣльныхъ лучей.

Рис. 402



Интерференція при узкой щели.

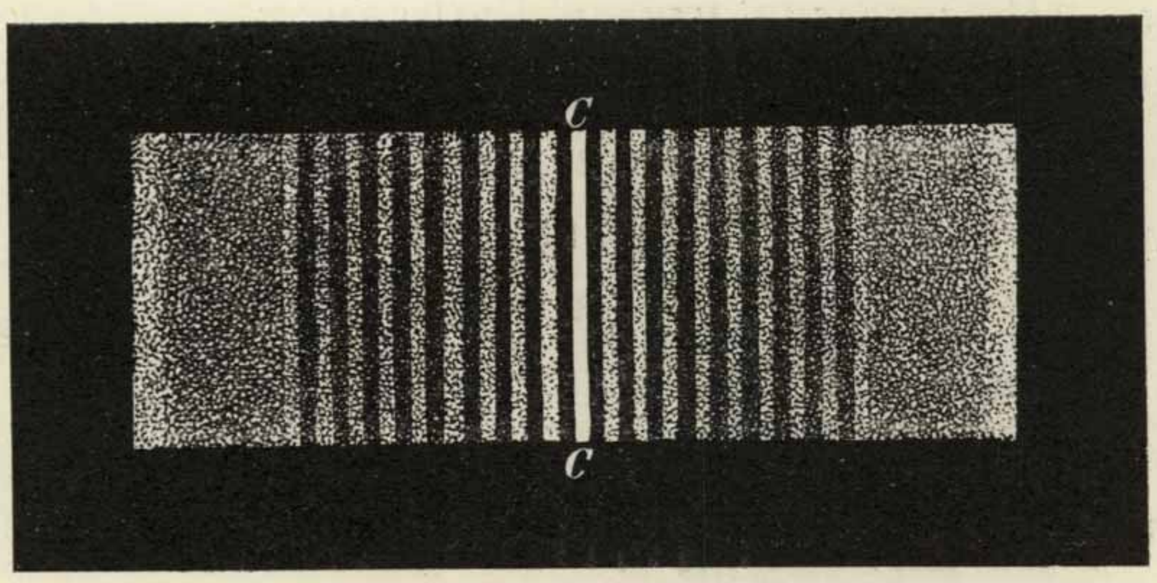
Если для крайнихъ лучей пучка, уклоненнаго отъ первоначальнаго направленія еще больше, разность хода составитъ двѣ цѣлыхъ длины волны, то разность хода между крайнимъ лучемъ и среднимъ, какъ и разность хода между послѣднимъ и другимъ крайнимъ лучемъ, будетъ составлять одну длину волны. Такимъ образомъ лучи каждой половины будутъ взаимно уничтожать свое дѣйствіе. То же имѣетъ мѣсто, если разность хода крайнихъ лучей будетъ составлять 3, 4, 5 и т. д. цѣлыхъ длинъ волнъ.—Въ тѣхъ направленіяхъ, которыя соотвѣтствуютъ этимъ разностямъ, на экранъ не будетъ попадать никакого свѣта и на соотвѣтственныхъ мѣстахъ будутъ видны темныя полосы. Но если разность хода крайнихъ лучей будетъ составлять 1, 3, 5, 7 и т. д. полуволнъ, то въ этихъ направленіяхъ на экранъ будетъ попадать нѣкоторый свѣтъ и на соотвѣтственныхъ мѣстахъ получатся свѣтлыя линіи. Образованное интерференціей изображеніе будетъ состоять изъ свѣтлой линіи посрединѣ и ряда свѣтлыхъ и темныхъ полосъ по обѣ стороны отъ средней линіи (рис. 403).

http://mathesis.ru

Если измѣрить взаимное разстояніе двухъ сосѣднихъ темныхъ полосъ и опредѣлить уголъ, на какой уклонился пучекъ свѣта отъ первоначальнаго направленія, то вычисленіе длины волны монохроматическаго свѣта, служившаго для опыта, представитъ простую геометрическую задачу. Именно, разность путей отъ щели до темныхъ полосъ на экранѣ, соотвѣтствующихъ взятымъ лучамъ, должна составлять цѣлую длину волны.

Если производить этотъ опытъ не съ монохроматическимъ, а съ бѣлымъ свѣтомъ, то изображенія будутъ состоять не изъ свѣтлыхъ и темныхъ полосъ, а изъ

Рис 403



Интерференціонныя полосы.

цвѣтныхъ. Въ самомъ дѣлѣ, лучи различнаго цвѣта даютъ свои свѣтлыя и темныя полосы на неодинаковыхъ разстояніяхъ отъ средней полосы, которая и въ этомъ случаѣ будетъ бѣлой, такъ какъ она образована лучами всѣхъ цвѣтовъ. Ближайшая свѣтлая полоса къ серединѣ будетъ фіолетовая, такъ какъ фіолетовый цвѣтъ имѣетъ наименьшую длину волны. За ними будутъ слѣдовать остальныя полосы въ порядкѣ цвѣтовъ радуги. Но эти цвѣта нечисты, такъ какъ, съ удаленіемъ отъ средней полосы, цвѣта все больше и больше смѣшиваются другъ съ другомъ.

427. Фраунгоферъ улучшилъ этотъ диффракціонный спектръ введеніемъ такъ называемой оптической рѣшетки, которую онъ получилъ, натянувъ металлическія проволочки черезъ углубленія нарѣзки двухъ параллельныхъ винтовъ. Можно приготовить такую рѣшетку также, процарапавъ тонкія линіи въ слоѣ металла на стеклянномъ зеркалѣ. Чаще всего употребляются рѣшетки, полученныя нанесеніемъ параллельныхъ линій на стеклянную пластинку тонкимъ алмазнымъ рѣзцомъ. Промежутки между двумя нанесенными линіями будутъ представлять щели. Если пропустить лучъ свѣта перпендикулярно къ рѣшеткѣ, то каждая щель ея представитъ исходную точку новыхъ свѣтовыхъ волнъ.

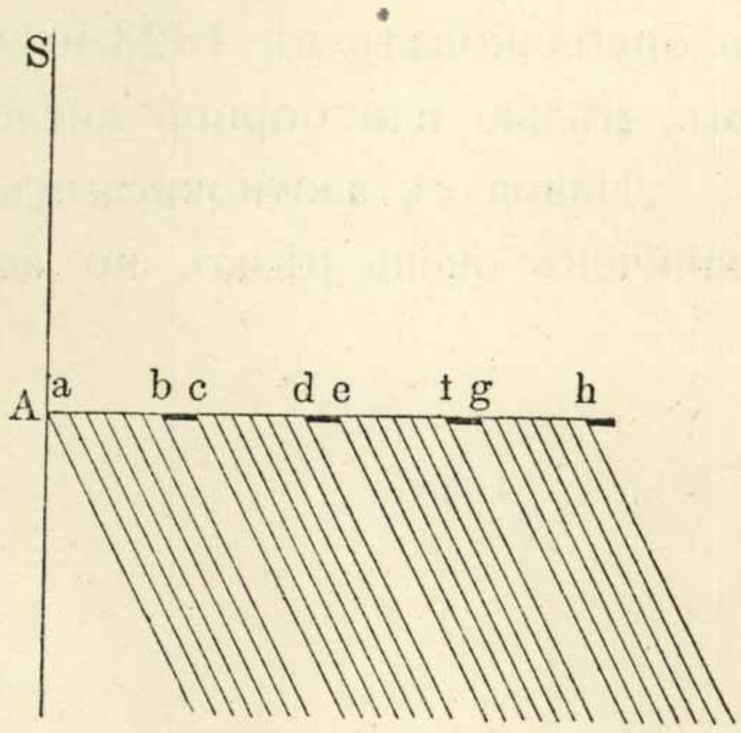
Рис. 404 представляетъ часть такой рѣшетки. Первую изъ какой-нибудь тысячи щелей пусть представляетъ *ab*, вторую *cd* и т. д. Проходящій свѣтъ, сохранившій первоначальное направленіе, собирается при помощи линзы и даетъ на экранѣ свѣтлую полосу

Напротивъ, свѣтовые лучи, проходящіе сквозь рѣшетку въ косомъ направленіи, будутъ давать нѣкоторую разность хода. Если эта разность, напримѣръ, для лучей, идущихъ сквозь первую и вторую щели, составитъ 1/1000 длины волны, то вообще для каждой пары сосѣднихъ щелей разность хода будетъ составлять 1/1000 длины

http://mathesis.ru

волны. Лучи, проходящіе сквозь щель 501, должны пройти путь, который на 500/1000 длины волны длиннѣе пути, который должны пройти лучи изъ щели 1. Слѣдовательно, эти лучи взаимно уничтожаются. То же относится къ лучамъ, выходящимъ изъ щелей 2 и 502, 3 и 503 и т. д. Такимъ образомъ свѣтъ, выходящій въ такомъ направленіи изъ первыхъ 500 щелей, будетъ уничтожаться свѣтомъ, выходящимъ изъ слѣдующихъ 500 щелей.—Если рѣшетка имѣетъ достаточное число щелей, то свѣтъ будетъ уничтожаться вездѣ, кромѣ тѣхъ мѣстъ, на которыхъ лучи двухъ сосѣднихъ щелей даютъ разность хода въ нѣсколько цѣлыхъ длинъ волны.

Рис. 404



Интерфенерція въ оптической рѣшеткѣ.

Тамъ, гдѣ разность хода для лучей двухъ сосѣднихъ щелей составляетъ 1, 2, 3 и т. д. (цѣлое число) длинъ волны, всѣ пучки лучей всѣхъ щелей усиливаютъ другъ друга. Поэтому въ соотвѣтственныхъ направленіяхъ должны получиться свѣтлыя линіи.

Такимъ образомъ рѣшетка, какъ и отдѣльная щель, даетъ интерференціонныя полосы, свѣтлыя и темныя, но изображеніе получается значительно ярче, чѣмъ отъ одной щели.

Если для этого опыта съ рѣшеткой брать бѣлый свѣтъ, то вмѣсто свѣтлыхъ и темныхъ полосъ получится спектръ, фіолетовый конецъ котораго будетъ обращенъ къ средней полосѣ. Рѣшетка даетъ не одинъ спектръ съ каждой стороны отъ средней полосы, а нѣсколько, расположенныхъ дальше отъ нея и постепенно все болѣе и болѣе слабыхъ.

428. Въ диффракціонномъ спектрѣ солнечнаго свѣта Фраунгоферъ нашелъ темныя линіи въ томъ же порядкѣ и той же относительной яркости, что и въ призматическомъ. Онъ опредѣлилъ длины волнъ различныхъ цвѣтовъ, причемъ темныя линіи служили ему опорными точками. Измѣренія Фраунгофера гораздо цѣннѣе и точнѣе измѣреній Йонга и Ньютона, такъ какъ у послѣднихъ не было вспомогательнаго средства въ видѣ темныхъ линій.

Фраунгофера интересовала не математическая сторона вопроса и онъ не ставилъ себѣ задачей вмѣшательство въ споръ о природѣ свѣта. Онъ ограничивался просто установленіемъ фактовъ при помощи опытовъ. Математической обработкѣ его наблюденія были позднѣе подвергнуты Швердомъ (1792—1871), профессоромъ Шпейерской гимназіи. Эта обработка сдѣлала опыты съ оптической рѣшеткой новымъ подтвержденіемъ волнообразной теоріи. Во время появленія работы Шверда въ 1835 г. Фраунгофера уже давно не было на свѣтѣ, такъ какъ онъ умеръ въ возрастѣ всего 39 лѣтъ. Онъ въ высшей степени способствовалъ развитію оптики. Наиболѣе важное мѣсто здѣсь принадлежитъ его улучшеніямъ оптическихъ инструментовъ при помощи вычисленія и шлифовки ахроматическихъ линзъ. На его могилѣ было справедливо написано: „Онъ приблизилъ къ намъ звѣзды“. Теперь мы можемъ прибавить: „Онъ далъ намъ возможность познавать природу источника свѣта по посылаемымъ имъ лучамъ“.

Фраунгоферовы линіи, а также наблюденіе желтой линіи въ огнѣ спиртовой

http://mathesis.ru

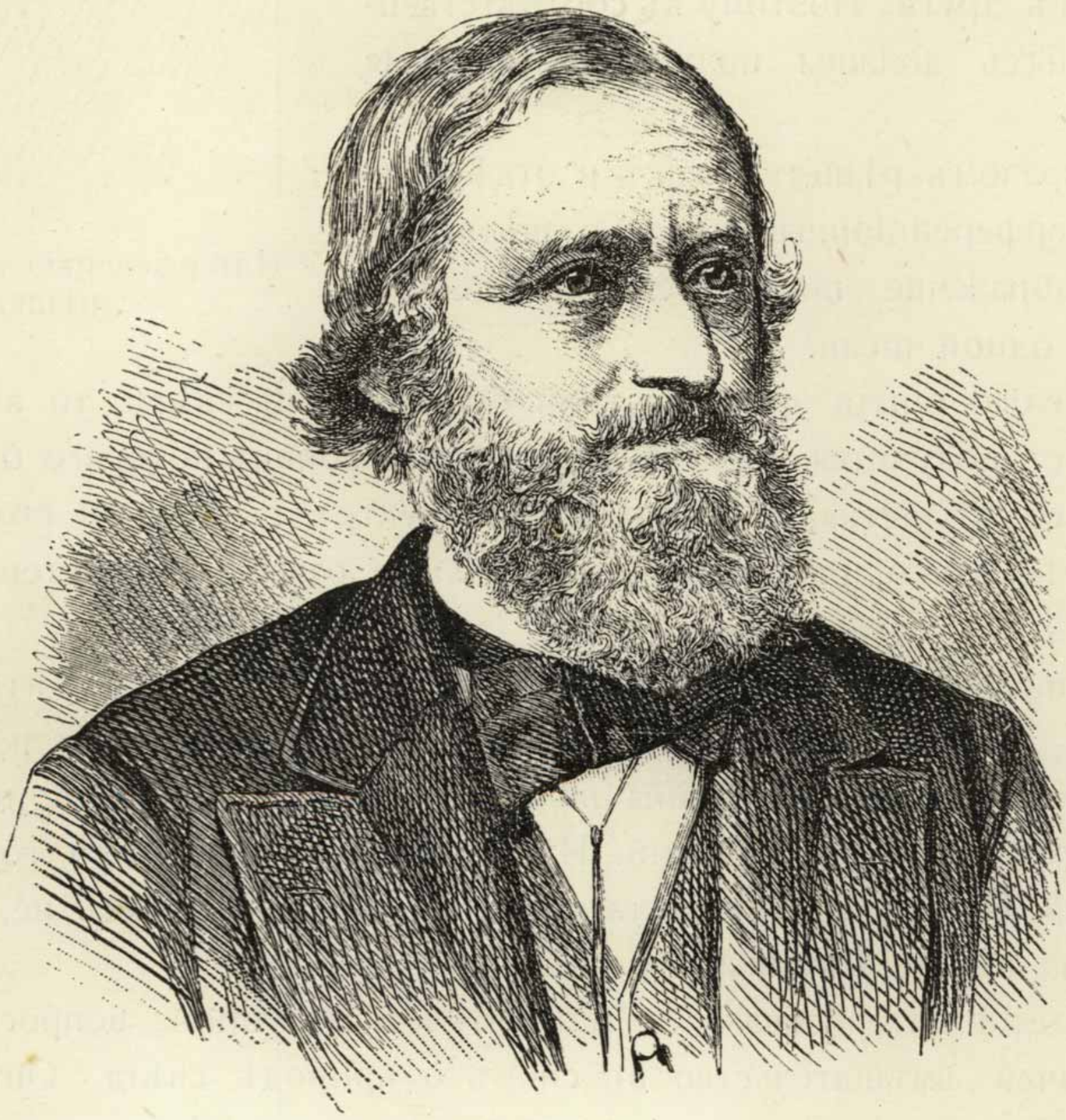
лампы явились предшественниками совершенно новой науки — спектральнаго анализа.

429. Спиртовое пламя само по себѣ безцвѣтно, но обыкновенно оно имѣетъ желтоватую окраску. На это явленіе обращалъ вниманіе уже въ 1752 г. Томасъ Мельвилль въ одномъ Эдинбургскомъ журналѣ. Однако, онъ не могъ указать причины этой желтой окраски.

Одновременно съ Фраунгоферомъ изслѣдованіемъ спектра пламени различной окраски занимался Джонъ Гершель (§ 327). Его наблюденія, результаты которыхъ онъ опубликовалъ въ 1823 и 1829 гг., относились къ пламени, окрашенному стронціемъ, мѣдью или борной кислотой.

„Пламя съ азотнокислымъ стронціемъ даетъ два яркихъ красныхъ луча. Спектръ ограниченъ очень рѣзко, но всего удивительнѣе въ немъ свѣтлая фіолетовая линія,

Рис. 405



Г. Р. Кирхгоффъ.

совершенно отличная отъ остальныхъ.—Калій при горѣніи въ парахъ іода также даетъ характерный спектръ“. Гершель подчеркиваетъ, что этимъ путемъ можно обнаружить крайне ничтожныя количества окрашивающихъ пламя веществъ. Но ихъ свѣтъ нужно пропускать сквозь призму, такъ какъ при непосредственномъ наблюденіи окраска пламени не опредѣляется достаточно ясно.

Яснѣе говоритъ объ этихъ соотношеніяхъ Фоксъ Тальботъ (1800—1877), изобрѣтатель фотографіи на бумагѣ. Въ 1834 г., говоря о своихъ спектральныхъ изслѣдованіяхъ, начатыхъ въ 1826 г., онъ подчеркиваетъ, что стронціевое пламя и литіевое пламя, т. е. пламя, окрашенное стронціемъ или литіемъ, нельзя отличить другъ отъ друга простымъ глазомъ, такъ какъ оба они красныя, но если разсмат-

http://mathesis.ru

ривать стронціевое пламя сквозь призму, то кромѣ красножелтаго и рѣзкаго голубого лучей въ немъ можно замѣтить большое число красныхъ лучей, раздѣленныхъ другъ отъ друга темными промежутками. Напротивъ, въ литіевомъ пламени красные лучи не отдѣляются другъ отъ друга. Тальботъ прибавляетъ, что при помощи наблюденія спектра можно открывать поразительно ничтожныя количества этихъ веществъ и даже что этотъ способъ изслѣдованія гораздо тоньше, чѣмъ химическое опредѣленіе присутствія этихъ веществъ. Тальботъ, однако, не сдѣлалъ общихъ выводовъ изъ своихъ наблюденій. То же относится и къ Миллерсу (1817—1870), который опубликовалъ свои наблюденія спектровъ пламени въ 1845 г. Онъ, правда,

Рис. 406



Р. В. Бунзенъ.

приложилъ къ своей работѣ изображенія наблюденныхъ имъ спектровъ, но не добился яснаго представленія спектральныхъ явленій.

Существенный успѣхъ въ этомъ направленіи представляютъ работы Вильяма Свана (род. 1817), опубликованныя въ 1857 г. Сванъ доказалъ, что свѣтлая желтая линія въ спектрѣ спиртоваго пламени, которою пользовался уже Фраунгоферъ и которая почти никогда не отсутствуетъ въ спектрѣ пламени масляной лампы, производится металломъ натріемъ, который въ соединеніи съ хлоромъ даетъ поваренную соль. Причиной того, что почти всякое пламя даетъ линію натрія, является широкая распространенность этого вещества. Въ каждой водѣ, въ каждой пылинкѣ находится бо́льшее или меньшее количество этого соединенія.

http://mathesis.ru

Какъ было уже упомянуто, эта желтая линія всегда получается въ одномъ и томъ же мѣстѣ спектра. Такимъ образомъ, натрій въ пламени даетъ всегда одну опредѣленную спектральную линію. Сванъ изслѣдовалъ также пламя другого рода и пришелъ къ аналогичнымъ результатамъ, а именно, что спектральныя линіи, появляющіяся при нагрѣваніи вещества въ пламени, всегда находятся въ одномъ и томъ же мѣстѣ спектра. Всякое вещество имѣетъ свои опредѣленныя линіи, характерныя для него.—Однако, этотъ законъ былъ выраженъ ясно впервые только Кирхгоффомъ и Бунзеномъ. Сванъ разсматривалъ предметъ недостаточно обще и оставилъ безъ отвѣта вопросъ, какую роль играютъ въ произведеніи спектра твердыя и какую газообразныя вещества.

430. Густавъ Робертъ Кирхгоффъ родился въ Кёнигсбергѣ въ 1824 году. Онъ началъ свое ученіе въ университетѣ родного города, гдѣ въ числѣ его учителей былъ знаменитый профессоръ математической физики Францъ Нейманъ (1798—1895). Во всѣхъ работахъ Кирхгоффа можно замѣтить вліяніе Неймана, обнаруживающееся въ изящномъ математическомъ изложеніи физическихъ изслѣдованій. Въ 1838 г. Кирхгоффъ сталъ приватъ-доцентомъ Берлинскаго университета, въ 1850 профессоромъ въ Бреславлѣ, а въ 1864 профессоромъ въ Гейдельбергѣ. Въ Бреславлѣ въ теченіе одного года онъ работалъ одновременно съ Бунзеномъ, который переѣхалъ въ Гейдельбергъ уже въ 1852 г.

Робертъ Вильгельмъ Бунзенъ родился въ 1811 г. въ Гёттингенѣ. Здѣсь же въ 1833 г. онъ сталъ приватъ-доцентомъ, въ 1836 г. сдѣлался профессоромъ политехнической школы въ Касселѣ, въ 1838 г. профессоромъ въ Марбургѣ. Отсюда онъ въ 1851 г. перешелъ въ Бреславль. Уже въ слѣдующемъ году Бунзенъ послѣдовалъ приглашенію въ Гейдельбергъ.

Работая въ Гейдельбергѣ, Кирхгоффъ уже принадлежалъ къ числу знаменитѣйшихъ доцентовъ Европы. Его лекціи, въ которыхъ обнаруживалось поразительное владѣніе матеріаломъ и которыя сопровождались изящными и точно выполненными опытами, привлекали въ Гейдельбергъ слушателей изо всѣхъ странъ. Въ 1859 г., слѣдовательно, спустя два года послѣ появленія работъ Свана Кирхгоффъ помѣстилъ въ ежемѣсячникѣ Берлинской Академіи статью о Фраунгоферовыхъ линіяхъ, въ которой онъ положилъ основаніе научному спектральному анализу. Эта статья состояла всего изъ двухъ страницъ въ восьмую долю листа и въ существенномъ содержала слѣдующее.

431. „Во время производимаго сообща Бунзеномъ и мною изслѣдованія о спектрахъ окрашеннаго пламени, которое дало намъ возможность опредѣлять составъ сложныхъ смѣсей по спектру ихъ пламени на паяльной трубкѣ, я сдѣлалъ нѣсколько наблюденій, которыя даютъ неожиданное указаніе на происхожденіе Фраунгоферовыхъ линій и позволяютъ вывести заключенія, на основаніи ихъ, о составѣ атмосферы солнца и, можетъ быть, болѣе яркихъ звѣздъ“.

„Фраунгоферъ замѣтилъ, что въ спектрѣ пламени свѣчи видны двѣ свѣтлыхъ линіи, которыя совпадаютъ съ двумя темными линіями *D* солнечнаго спектра. Тѣ же свѣтлыя линіи получаются ярче въ пламени, въ которое была внесена поваренная соль. Я сдѣлалъ рисунокъ солнечнаго спектра и при этомъ пропустилъ солнечные лучи, еще до вступленія ихъ на щель, сквозь большое пламя, окрашенное поваренною солью. При достаточномъ ослабленіи солнечнаго свѣта на мѣстѣ двухъ темныхъ

http://mathesis.ru

линій *D* появлялись свѣтлыя линіи; но если напряженность солнечнаго свѣта переходила извѣстную границу, то темныя линіи *D* становились гораздо рѣзче, чѣмъ онѣ были при отсутствіи пламени, окрашеннаго поваренною солью".

Когда Кирхгоффъ сдѣлалъ это наблюденіе и убѣдился въ его справедливости, онъ оставилъ лабораторію, чтобы обдумать этотъ вопросъ, со словами: „Тутъ, кажется, есть что-то фундаментально важное" („das scheint mir eine fundamentale Geschichte"). На слѣдующій день онъ открылъ искомую связь. Въ его статьѣ дальше слѣдуетъ: „Изъ этихъ наблюденій я заключаю, что окрашенное пламя, въ спектрѣ котораго есть свѣтлыя рѣзкія линіи, такъ ослабляетъ лучи цвѣта этихъ линій, проходящіе сквозь него, что на мѣстѣ свѣтлыхъ линій появляются темныя, если позади пламени находится источникъ свѣта достаточной яркости, въ спектрѣ котораго этихъ линій вообще нѣтъ. Я заключаю далѣе, что темныя линіи солнечнаго спектра, которыя произведены не атмосферой земли, возникаютъ благодаря присутствію въ раскаленной атмосферѣ солнца веществъ, въ спектрѣ пламени дающихъ на томъ же самомъ мѣстѣ свѣтлыя линіи. Можно допустить, что свѣтлыя линіи, въ спектрѣ пламени совпадающія съ *D*, всегда обусловлены присутствіемъ натрія; отсюда темныя линіи *D* въ спектрѣ солнца позволяютъ заключить, что въ атмосферѣ солнца есть натрій". Такимъ образомъ, Кирхгоффъ думаетъ, что ядро солнца раскалено добѣла и испускаетъ лучи всѣхъ цвѣтовъ, но что солнечная атмосфера удерживаетъ изъ этихъ лучей, между прочимъ, желтые лучи натрія, такъ какъ она сама содержитъ раскаленные пары натрія. Такимъ образомъ, солнечный спектръ, повидимому, есть спектръ поглощенія, такъ какъ нѣкоторые изъ цвѣтныхъ лучей спектра отчасти или вполнѣ поглощаются веществомъ, окружающимъ источникъ свѣта.

Кирхгоффъ заключаетъ свою статью слѣдующими словами: „Согласно этому изслѣдованіе спектровъ окрашеннаго племени пріобрѣло новый высокій интересъ; вмѣстѣ съ Бунзеномъ я поведу изслѣдованіе дальше, насколько позволятъ наши средства. При этомъ мы будемъ изслѣдовать дальше установленное моимъ наблюденіемъ ослабленіе свѣтовыхъ лучей въ пламени. Изъ тѣхъ опытовъ, которые сдѣланы нами въ этомъ направленіи, уже выяснился одинъ фактъ, который имѣетъ, какъ намъ кажется, большое значеніе. Друммондовъ свѣтъ для обращенія въ немъ линій *D* въ темныя требуетъ меньшей температуры пламени, окрашеннаго солью. Пламя не вполнѣ обезвоженнаго алкоголя годится для этого, но пламя Бунзеновской газовой горѣлки уже не годится. При употребленіи послѣдней достаточно самаго ничтожнаго количества поваренной соли, какое только можетъ быть замѣчено, чтобы показались свѣтлыя линіи натрія. Мы оставляемъ за собою право вывести дальнѣйшія слѣдствія, которыя могутъ быть связаны съ этимъ фактомъ".

432. Наиболѣе важнымъ пунктомъ этой коротенькой статьи является, очевидно, указаніе на связь между лучами, посылаемыми пламенемъ, и лучами, ослабляемыми имъ, когда сквозь него проходитъ бѣлый свѣтъ.

Въ ученіи о теплотѣ (II, §§ 133 и 134) будетъ показано, что два тѣла одинаковой температуры, помѣщенныя рядомъ, находятся въ условіяхъ уравновѣшеннаго излученія. Отсюда необходимо слѣдуетъ, что способность излученія и способность поглощенія у такихъ двухъ тѣлъ должны находиться въ одномъ и томъ же отношеніи другъ къ другу. Если одно тѣло излучаетъ тепла въ 10 разъ больше, чѣмъ другое,

http://mathesis.ru

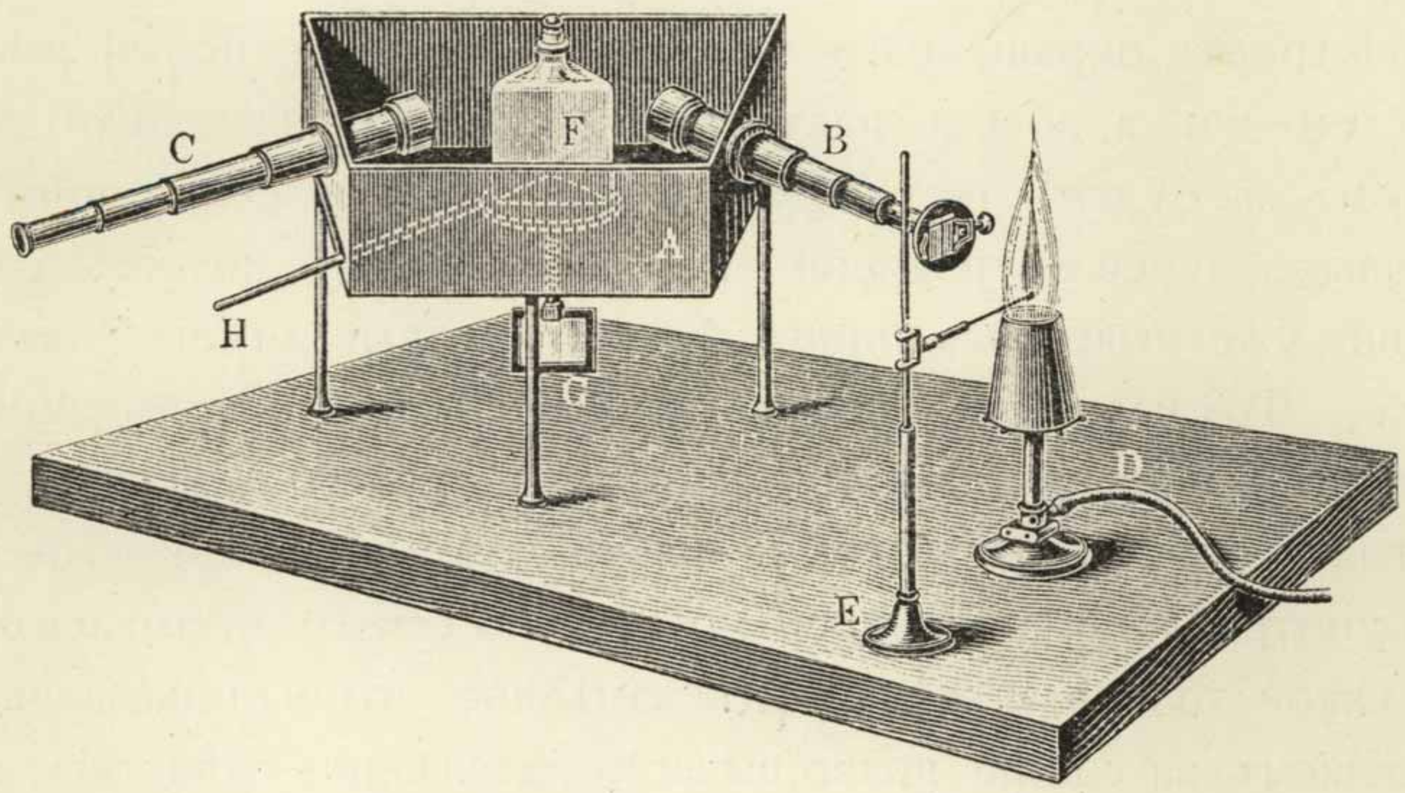
то условіе уравновѣшенности излученій можетъ имѣть мѣсто только въ томъ случаѣ, если первое тѣло поглощаетъ тепловые лучи въ 10 разъ сильнѣе, нежели второе. Но что справедливо для тепловыхъ лучей, то справедливо и для свѣтовыхъ, такъ какъ тепловые и свѣтовые лучи, подобно различнымъ цвѣтнымъ лучамъ, отличаются другъ отъ друга только скоростью своихъ колебаній (ср. § 410 и II, § 145).

Кирхгоффъ прослѣдилъ глубже эту связь между излученіемъ и поглощеніемъ. Онъ показалъ, что найденное соотношеніе должно быть справедливымъ для каждаго отдѣльнаго рода лучей, характеризуемаго своею особою длиною волны. Но существуютъ такіе виды пламени, которые испускаютъ монохроматическій свѣтъ, т. е. свѣтъ одной опредѣленной длины волны. Такое монохроматическое пламя должно, слѣдовательно, въ особенно значительной степени поглощать свѣтъ, длина волны котораго равна длинѣ волны посылаемыхъ имъ самимъ лучей.

Это объясняло тотъ опытъ, въ которомъ солнечный и Друммондовъ свѣтъ, прежде чѣмъ быть разсѣяннымъ призмой, проходили сквозь натріевое пламя. Пламя натрія излучаетъ свѣтъ, соотвѣтствующій двойной линіи *D*. Этотъ же свѣтъ содержится также и въ свѣтѣ солнца, но въ послѣднемъ онъ гораздо сильнѣе, чѣмъ въ пламени натрія. Онъ ослабляется въ этомъ пламени, такъ что въ спектрѣ получается линія болѣе слабая въ сравненіи съ той, которая получается отъ солнечнаго свѣта, попадающаго на призму непосредственно.—Друммондовъ свѣтъ содержитъ лучи всѣхъ цвѣтовъ. Поэтому онъ даетъ непрерывный спектръ. Но если пропустить его сквозь пламя натрія, то его спектръ пересѣчется двойной темной линіей *D*.

433. До появленія работъ Кирхгоффа и Бунзена не былъ достаточно извѣстенъ тотъ фактъ, что спектральныя линіи могутъ характеризовать раскаленное

Рис. 407



Первый спектроскопъ Кирхгоффа.

въ пламени вещество. Правда, такая связь подозрѣвалась, но вполнѣ разъяснили ее именно только Кирхгоффъ и Бунзенъ. Этому очень помогъ построенный Кирхгоффомъ спектроскопъ.

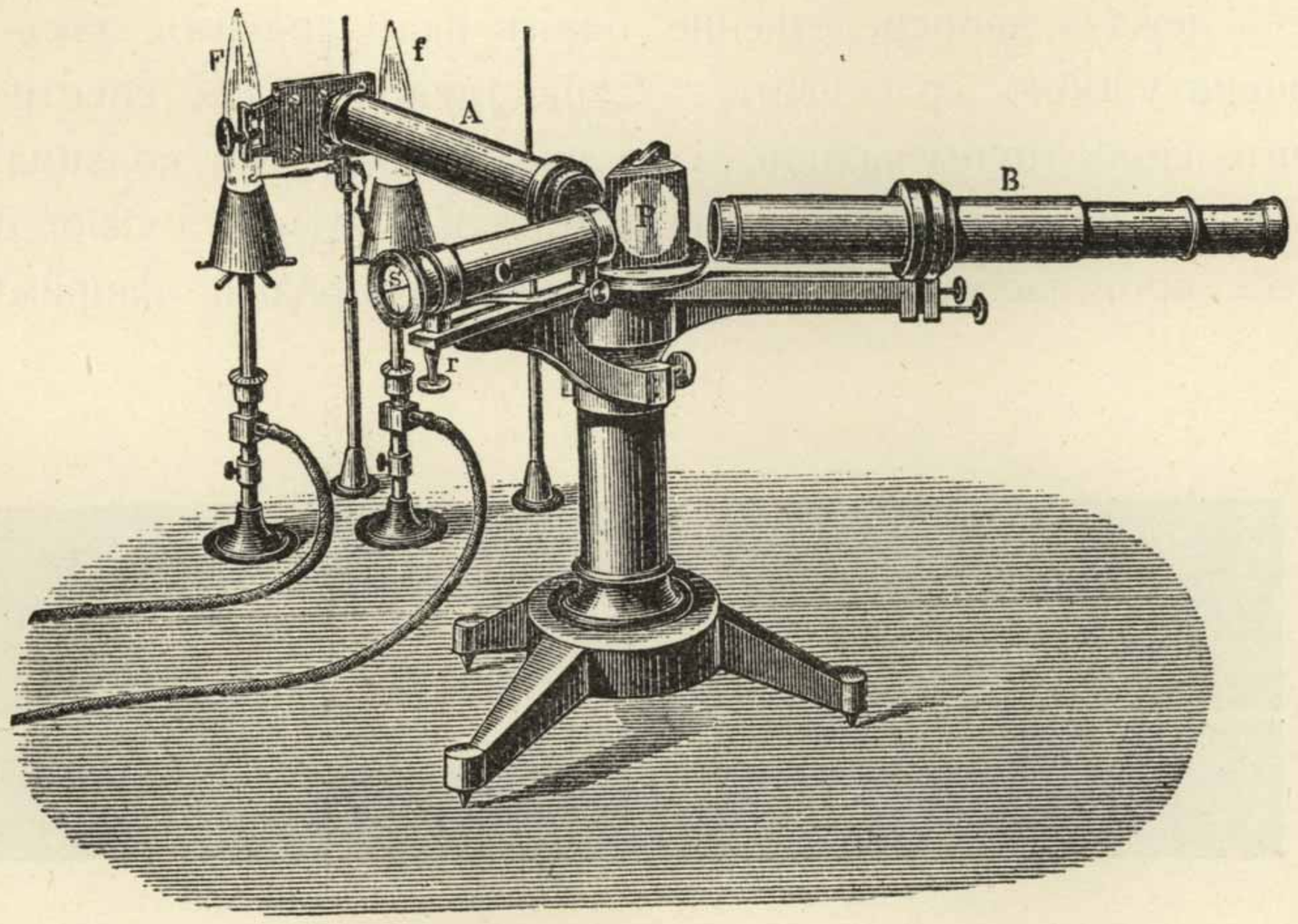
Первый спектроскопъ Кирхгоффа и Бунзена имѣлъ устройство, показанное на рис. 407. *F* представляло полую стеклянную призму съ плоско-параллельными стѣнками, наполнявшуюся сѣрнистымъ углеродомъ, который представляетъ собою сильно преломляющую жидкость. Трубка *B* на одномъ концѣ, обращенномъ къ пламени, была

http://mathesis.ru

снабжена щелью, а на другомъ концѣ имѣла собирательную линзу, которая дѣлала параллельными лучи, идущіе отъ щели. Эти лучи преломлялись призмою и полученный спектръ разсматривался зрительною трубою *C* съ 8-кратнымъ увеличеніемъ.

Профессоръ Штейнгейль въ Мюнхенѣ далъ спектроскопу форму, изображенную на рис. 408 и ставшую теперь общепринятой. Полая призма замѣнена въ ней массивной стеклянной, а кромѣ коллиматора и зрительной трубы есть еще третья труба.

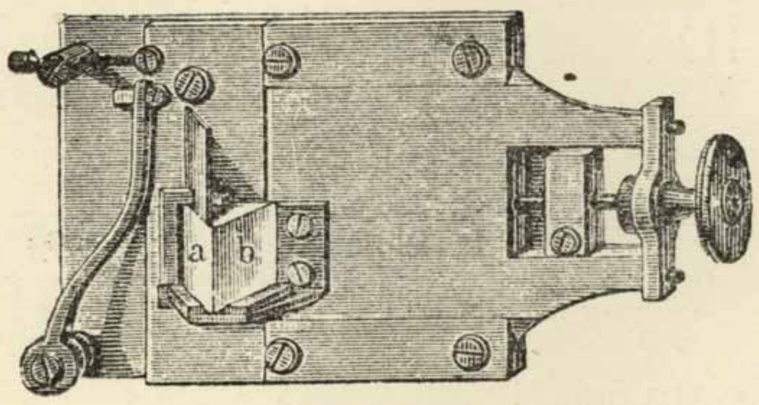
Рис. 408



Усовершенствованный спектроскопъ Кирхгоффа.

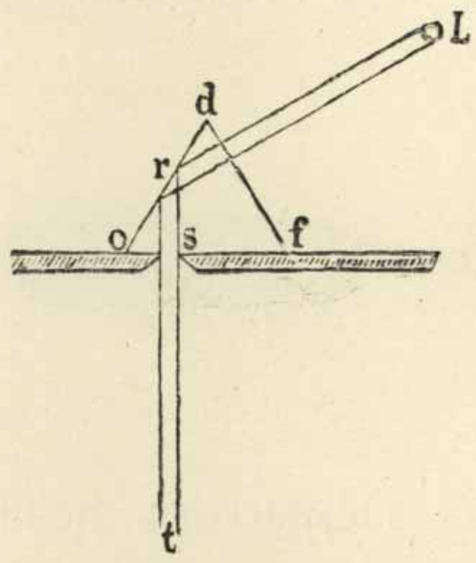
Эта труба на концѣ, обращенномъ къ призмѣ, снабжена собирательной линзой, а съ другого конца закрыта стеклянной пластинкой съ мелкими дѣленіями. Выходящіе изъ этой трубки лучи падаютъ на поверхность призмы и отражаются въ зрительную трубу, такъ что наблюдатель видитъ въ полѣ зрѣнія, выше или ниже спектра, дѣленія, при

Рис 409



Щель съ призмой.

Рис. 410



помощи которыхъ онъ можетъ точно опредѣлять положеніе спектральныхъ линій. Другое улучшеніе спектроскопа состоитъ въ приспособленіи, дозволяющемъ наблюдать одновременно спектры двухъ источниковъ свѣта. Для этой цѣли половина щели закрывается равносторонней призмой *ab* (рис. 409). Лучи, идущіе отъ пламени, ко-

http://mathesis.ru

торое находится на продолженіи оси коллиматора, проходятъ сквозь непокрытую часть щели. Напротивъ того, сквозь призму они не могутъ пройти, такъ какъ отражаются поверхностью призмы. Но если помѣстить пламя L нѣсколько сбоку отъ щели (рис. 410), то лучи, падающіе на поверхность df, войдутъ въ призму и отразятся отъ поверхности призмы cd въ щель. Въ непокрытую же часть щели отъ источника свѣта L не попадетъ ни одного луча. Такимъ образомъ, если эти два пламени, поставленныя прямо передъ щелью и сбоку отъ нея, различнаго рода, то въ зрительную трубу спектроскопа одновременно будутъ видны два различныхъ спектра. Они будутъ лежать непосредственно одинъ надъ другимъ, такъ что положеніе линій можно очень удобно сравнивать. — Существуютъ также спектроскопы, въ которыхъ ось зрительной трубы находится на продолженіи оси коллиматора (рис. 411). Эти такъ называемые прямые спектроскопы (прямого зрѣнія, à vision directe) состоятъ изъ нѣсколькихъ кронгласовыхъ и флинтгласовыхъ призмъ, напримѣръ, изъ трехъ

Рис. 411

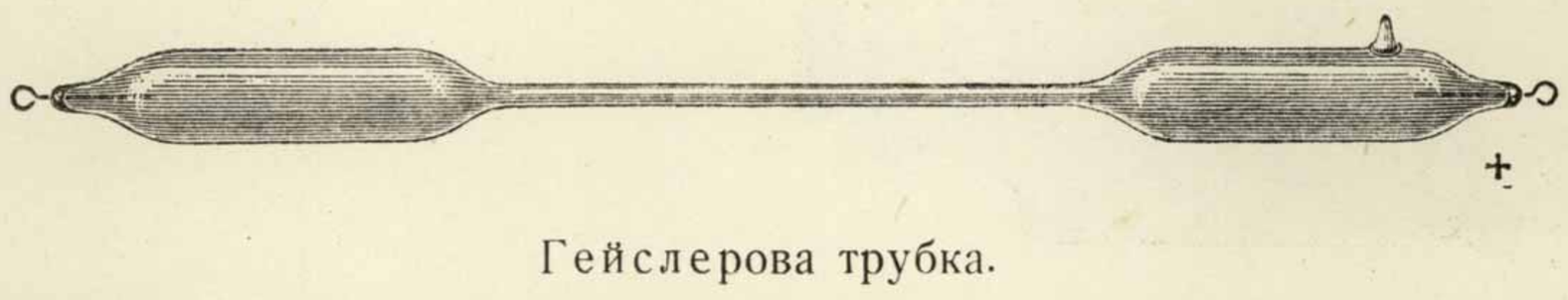


Прямой (à vision directe) спектроскопъ.

кронгласовыхъ и двухъ флинтгласовыхъ, углы которыхъ подобраны такъ, что преломленіе — но не разсѣяніе — одной группы призмъ уничтожается дѣйствіемъ другой группы. Маленькіе карманные спектроскопы всѣ принадлежатъ къ разряду прямыхъ.

434. Кирхгоффъ и Бунзенъ изслѣдовали множество извѣстныхъ веществъ, особенно металловъ. Изслѣдуемое вещество укрѣплялось на платиновой проволочкѣ и нагрѣвалось на пламени Бунзеновской горѣлки, на пламени водорода или гремучаго газа. При высокой температурѣ вещество обращалось въ паръ и свѣтъ этого раскаленнаго пара изслѣдовался. Эти наблюденія тотчасъ же повели къ открытію

Рис. 412



Гейслерова трубка.

двухъ новыхъ элементовъ, цезія и рубидія. Позднѣе при помощи спектроскопа было открыто нѣсколько другихъ элементовъ, напримѣръ, таллій, галлій и индій (ср. таблицу спектровъ).

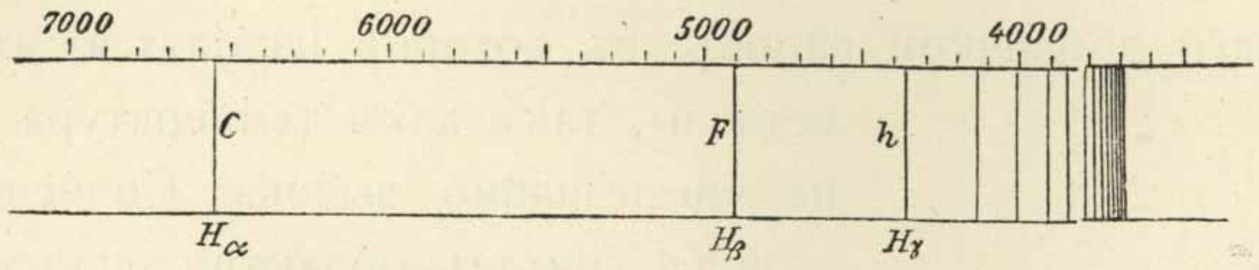
Спектры газообразныхъ тѣлъ наблюдаютъ при помощи такъ называемыхъ Гейслеровыхъ трубокъ (рис. 412), т. е. стеклянныхъ трубокъ, которыя содержатъ разрѣженный газъ и въ которыя впаиваются двѣ платиновыхъ проволочки, служащихъ для проскакиванія въ газѣ электрическихъ искръ, производимыхъ индукціоннымъ приборомъ.

http://mathesis.ru

Газъ при этомъ раскаливается и можно наблюдать его спектръ, помѣстивъ среднюю узкую часть трубки передъ щелью спектроскопа. Спектръ водорода (рис. 413) состоитъ изъ трехъ отчетливыхъ линій (красной, зеленой и фіолетовой), которыя совпадаютъ съ тремя Фраунгоферовыми линіями *C*, *F* и *h*. Кромѣ того, спектръ водорода содержитъ рядъ менѣе замѣтныхъ линій въ фіолетовомъ цвѣтѣ.

Спектральныя линія появляются только тогда, когда свѣтъ испускается раскаленными парами или газами, которые находятся подъ надлежащимъ давленіемъ. Свѣтъ, производимый твердыми и жидкими тѣлами, даетъ непрерывный (сплошной) спектръ.

Рис. 413



Спектръ водорода.

Спектръ иногда можетъ представлять среднее между сплошнымъ и линейчатымъ—это такъ называемые полосовые спектры, въ которыхъ рядъ свѣтлыхъ полосъ чередуется съ темными промежутками. При болѣе значительномъ разсѣяніи свѣта эти полосы разрѣшаются въ группы свѣтлыхъ линій и такимъ образомъ получается такъ называемый желобчатый спектръ.—Полосовые спектры даются преимущественно сложными веществами, напримѣръ, углеводородами. Но и газообразные элементы могутъ давать полосовые спектры, напримѣръ, когда электрическія искры въ Гейслеровой трубкѣ недостаточно сильны.

При помощи спектральнаго изслѣдованія, какъ уже подчеркивали Гершель и Тальботъ, можно обнаруживать присутствіе чрезвычайно ничтожныхъ количествъ нѣкоторыхъ веществъ. Кирхгоффъ и Бунзенъ нашли, что $^1/_{3\,000\,000}$ миллиграмма хлористаго натрія окрашивала пламя настолько, что оно давало ясную линію натрія, а позднѣе въ электрической искрѣ открывали даже присутствіе $^1/_{40\,000\,000}$ миллиграмма литія.

435. При изслѣдованіи менѣе преломляемыхъ лучей и изслѣдованіи свѣта сильныхъ источниковъ бываетъ выгодно пользоваться диффракціоннымъ спектроскопомъ, который обладаетъ тѣмъ преимуществомъ, что даетъ непосредственныя длины волнъ спектральныхъ линій. На изображенномъ на рис. 414 приборѣ *L* представляетъ коллиматоръ, *M* стеклянную оптическую рѣшетку и *F* зрительную трубу, въ которую наблюдается диффракціонный спектръ. На раздѣленномъ кругѣ отсчитывается уголъ отклоненія (диффракціи) и изъ величины этого угла опредѣляется длина волны спектральной линіи, на которую установлены перекрестныя нити зрительной трубы (ср. § 426). Съ такимъ именно инструментомъ шведскій физикъ Андерсъ Онгстрёмъ (1814—1874) очень точно опредѣлилъ положенія темныхъ линій солнечнаго спектра. Его знаменитый атласъ солнечнаго спектра (1869 г.) въ продолженіе 20 лѣтъ служилъ основой для точныхъ опредѣленій длинъ волнъ. Въ послѣднее время при спектральныхъ изслѣдованіяхъ находитъ широкое примѣненіе фотографія.

436. Послѣ того какъ Кирхгоффу и Бунзену удалось достовѣрно доказать, что спектральныя линіи дѣйствительно характеризуютъ различныя вещества, они предприняли основательное изслѣдованіе спектра солнца. Для этой цѣли Кирхгоффъ построилъ сильно разсѣивающій спектроскопъ съ четырьмя флинтгласовыми призмами

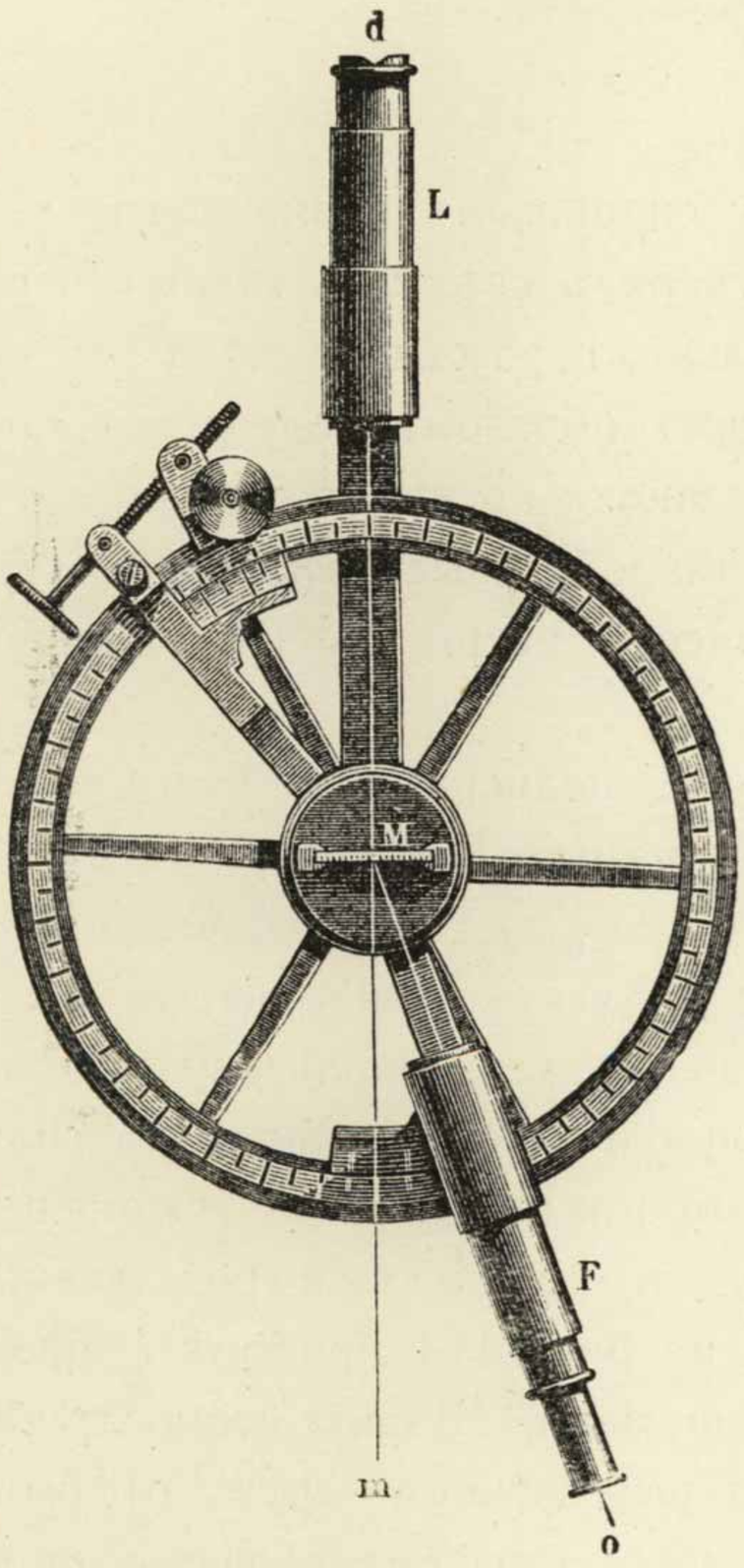
http://mathesis.ru

(рис. 415). Съ помощью тщательныхъ измѣреній эти превосходные изслѣдователи, опираясь на теорію поглощенія свѣтовыхъ лучей Кирхгоффа (§ 431), доказали, что значительное количество находящихся на землѣ элементовъ имѣется также и на солнцѣ. Этимъ они положили основаніе новой наукѣ, задачей которой является изслѣдованіе физическаго строенія небесныхъ тѣлъ. Въ 1865 г. Цёлльнеръ далъ этой наукѣ имя астрофизики.

Исходный пунктъ для опредѣленія веществъ, находящихся на солнцѣ, дали опыты Кирхгоффа надъ пламенемъ натрія и заключенія, которыя онъ извлекъ изъ этого опыта (§ 432).

Кирхгоффъ представлялъ себѣ солнце въ видѣ твердаго тѣла, раскаленнаго добѣла, окруженнаго оболочкой паровъ, въ которой находятся, въ видѣ паровъ же, металлы, такъ какъ температура поверхности солнца чрезвычайно высока. Солнечныя пятна Кирхгоффъ считалъ облаками солнечной атмосферы и, такимъ образомъ, массами болѣе или менѣе плотныхъ паровъ.—Солнечное ядро представляетъ часть солнца съ наиболѣе высокой температурой и отъ него исходитъ главная масса солнечнаго излученія. Послѣднее, такимъ образомъ, должно проходить сквозь атмосферу паровъ, которые также раскалены, но имѣютъ температуру ниже температуры солнечнаго ядра. Эта атмосфера паровъ дѣйствуетъ подобно натріевому пламени въ опытѣ Кирхгоффа (§ 431), т. е. поглощаетъ тѣ лучи, которые сама испускаетъ. Поэтому спектръ солнечнаго свѣта, доходящаго до земли, даетъ темныя линіи (ослабленныя мѣста), которыя отвѣчаютъ лучамъ, поглощеннымъ солнечной атмосферой. Изъ числа этихъ темныхъ (Фраунгоферовыхъ) линій солнечнаго спектра многимъ соотвѣтствуетъ множество спектральныхъ линій извѣстныхъ намъ металловъ; изъ этого совпаденія Кирхгоффъ и Бунзенъ заключили, что въ атмосферѣ солнца должны содержаться эти металлы въ парообразномъ состояніи.

Рис. 414



Спектроскопъ съ оптической рѣшеткой.

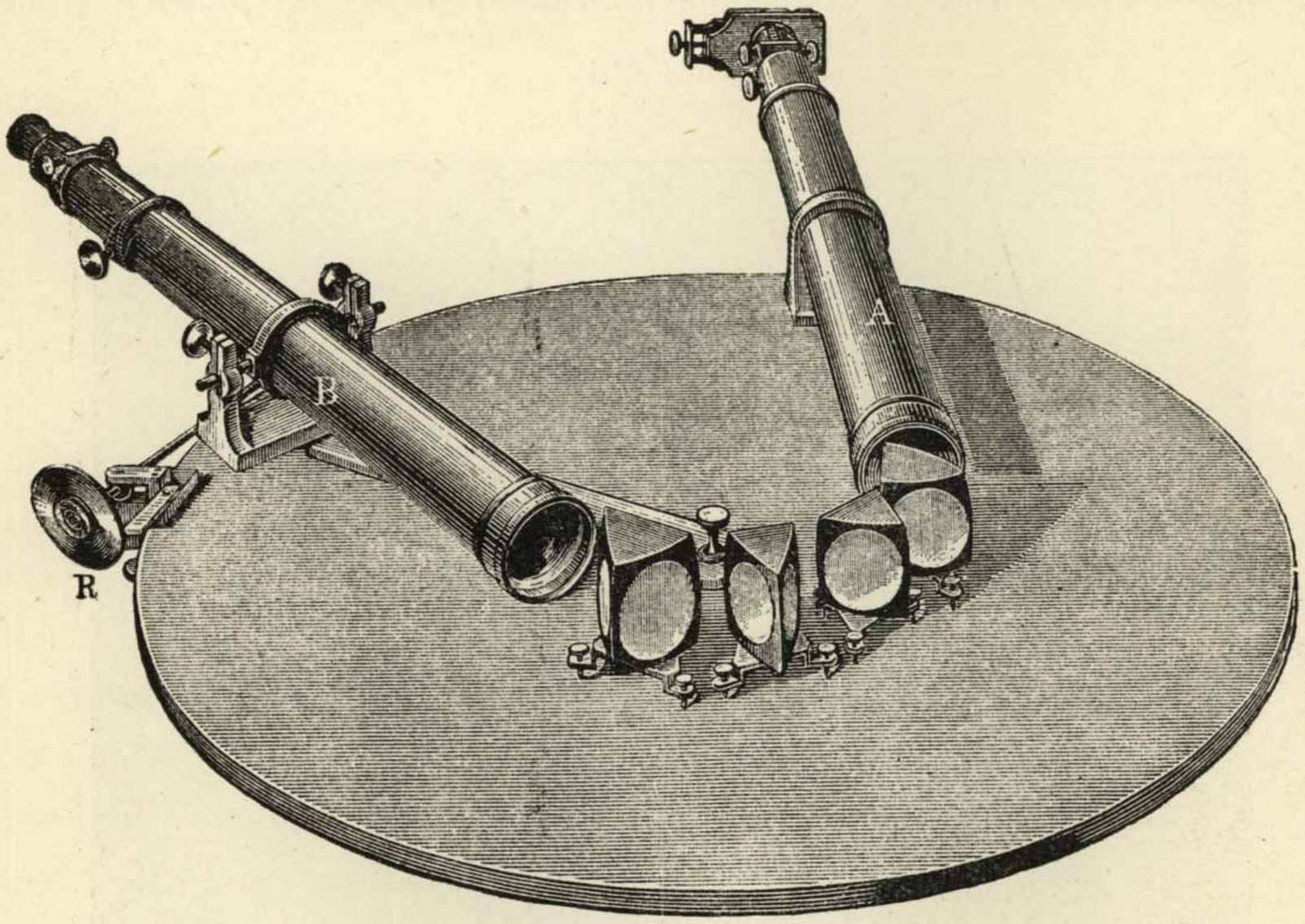
437. Конечно, было бы въ высшей степени важно найти доказательство справедливости теоріи Кирхгоффа о поглощающемъ дѣйствіи солнечной атмосферы на свѣтъ солнечнаго ядра, и притомъ доказательство, опирающееся не на опытъ со свѣтящимся пламенемъ, а на прямое наблюденіе солнечнаго свѣта. Въ настоящее время такое доказательство дѣйствительно есть. Однако, прежде чѣмъ перейти къ нему, мы должны познакомиться съ современными взглядами астрофизиковъ на строеніе солнца.—И теперь еще говорятъ о солнечномъ ядрѣ. Но это ядро недоступно прямому изслѣдованію. Въ высшей степени вѣроятно, что оно газообразно, такъ какъ его плотность составляетъ всего 1·4 (§ 310). Еслибы солнце было жидко, то оно должно было бы имѣть

http://mathesis.ru

гораздо большую плотность, такъ какъ въ немъ содержатся въ значительномъ количествѣ тяжелые металлы. Но газообразное солнечное ядро не совсѣмъ сравнимо съ массой газа на поверхности земли. Въ силу огромнаго давленія, господствующаго на солнцѣ, солнечное ядро обладаетъ плотностью, которая превосходитъ плотность воды, но, несмотря на это, оно въ силу своей высокой температуры газообразно.

Видимая поверхность солнца образуется слоемъ сильно раскаленныхъ облаковъ, фотосферой, окружающей солнечное ядро. Въ этой фотосферѣ образуются солнечныя пятна и изъ нея выступаютъ солнечные факелы. Солнечныя пятна, иногда

Рис. 415



Спектроскопъ Кирхгоффа съ сильнымъ свѣторазсѣяніемъ.

достигающія размѣровъ въ милліонъ квадратныхъ миль, представляютъ собою углубленія въ фотосферѣ и кажутся намъ темными, такъ какъ эти углубленія наполнены сравнительно холоднымъ и потому сильно поглощающимъ газомъ, который спускается изъ внѣшнихъ слоевъ въ эти углубленія. Солнечные факелы производятся противоположнымъ процессомъ, т. е. тѣмъ, что въ отдѣльныхъ мѣстахъ фотосферы массы раскаленныхъ паровъ выбрасываются наружу. Факелы могутъ достигать высоты въ 10000 миль и ярче остальной фотосферы въ силу того, что излучаемый ими свѣтъ проходитъ сквозь болѣе тонкій слой газовъ.

Фотосфера покрыта другимъ слоемъ газовъ, болѣе холоднымъ, приблизительно въ 200 миль толщиной. Въ этомъ слоѣ происходитъ поглощеніе, производящее Фраунгоферовы линіи.

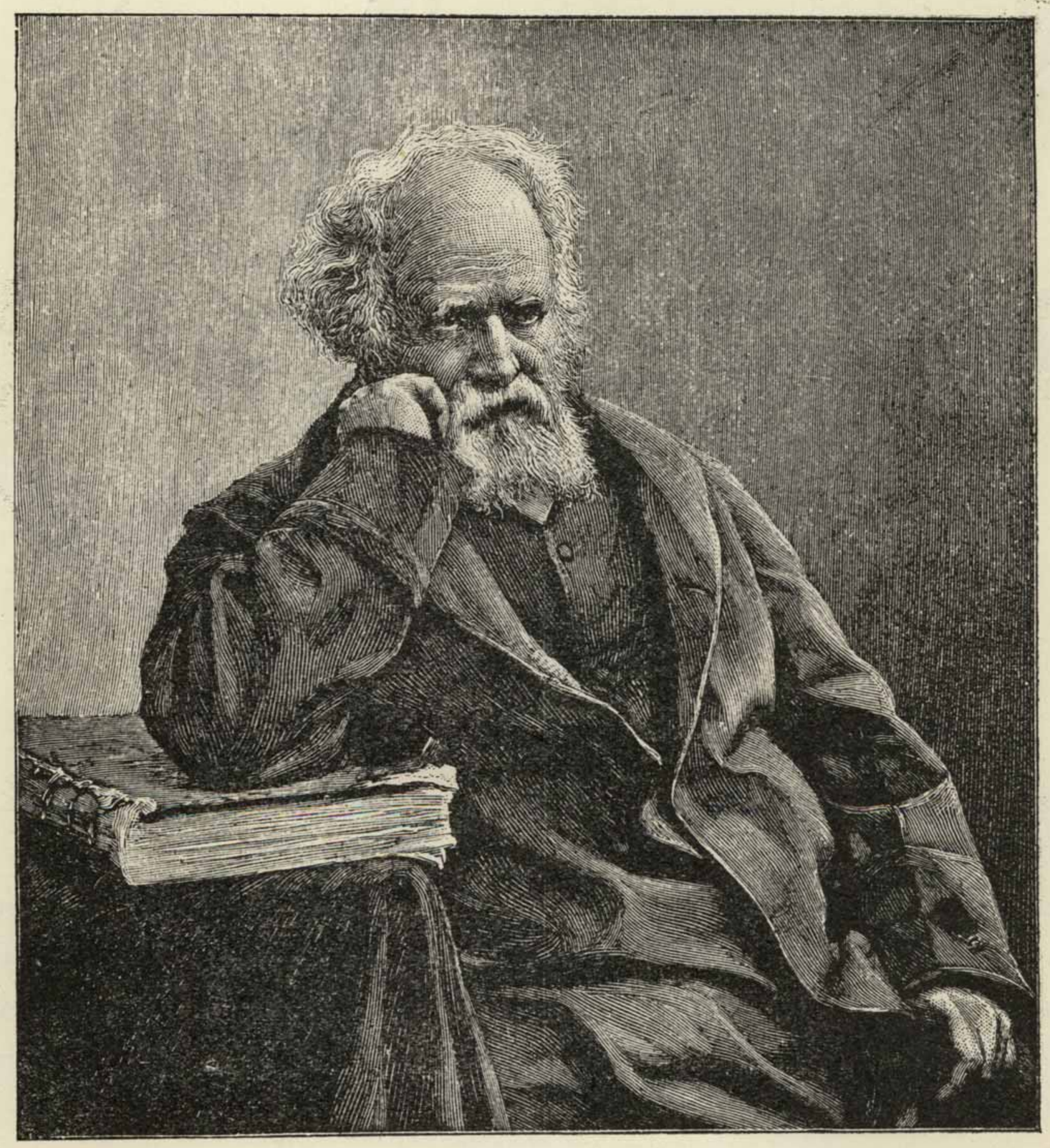
Поглощающій слой переходитъ въ пурпурно-красную хромосферу, которая кромѣ другихъ элементовъ содержитъ большія количества водорода. Изъ хромосферы подымаются отростки часто удивительной формы, такъ называемыя протуберанцы или солнечные выступы; хромосферу окружаетъ, наконецъ, самая внѣшняя часть солнечной атмосферы, корона, постепенно теряющаяся въ темныхъ пространствахъ небесъ.

438. При обыкновенныхъ условіяхъ нельзя отличить одинъ отъ другого раз-

http://mathesis.ru

ные слои, изъ которыхъ состоитъ атмосфера солнца. Но во время полныхъ солнечныхъ затменій мы можемъ изучать самыя внѣшнія раскаленныя газообразныя оболочки, такъ какъ при этомъ дискъ луны закрываетъ солнечное ядро и фотосферу.— Сдѣланное во время полнаго солнечнаго затменія спектральное изслѣдованіе внѣшнихъ накаленныхъ слоевъ солнечной атмосферы можетъ, очевидно, послужить для повѣрки установленной Кирхгоффомъ теоріи Фраунгоферовыхъ линій. Именно, во время затменія свѣтъ фотосферы устраняется луною и на землю попадаетъ только свѣтъ отъ внѣшнихъ слоевъ солнца, которые согласно теоріи Кирхгоффа и производятъ поглощеніе. Здѣсь въ извѣстной мѣрѣ мы имѣемъ тотъ же случай, какой представлялъ въ упомянутомъ уже (§ 431) опытѣ свѣтъ одного натріеваго пламени, изслѣ-

Рис. 416



П. Ж. Жанссенъ.

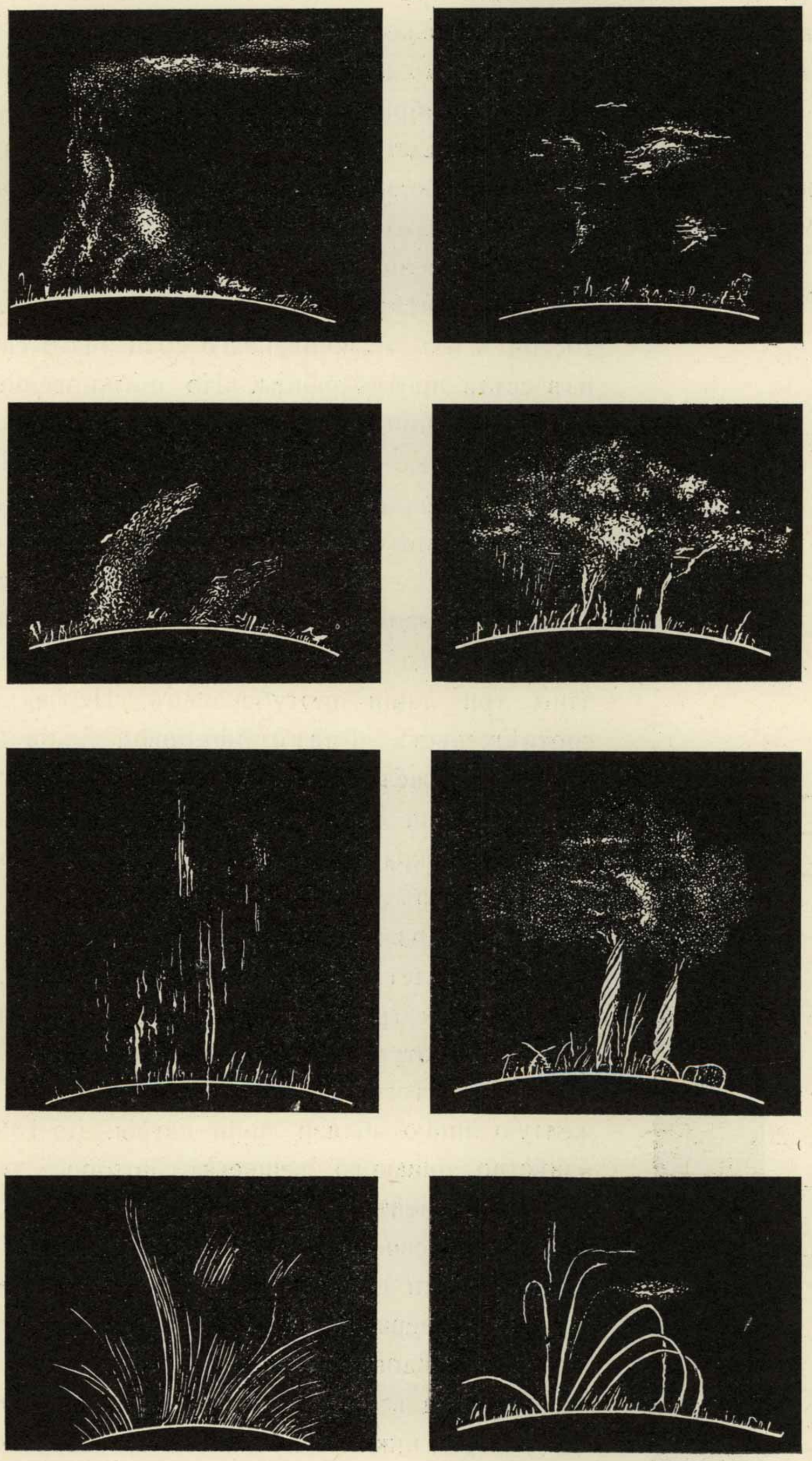
дуемаго при помощи спектроскопа. Отсюда вытекаетъ, что, изслѣдуя спектроскопически свѣтъ солнца во время полнаго солнечнаго затменія, мы должны видѣть спектральныя линіи свѣтлыми на темномъ фонѣ.

Полное солнечное затменіе 1868 г. и было использовано для такой повѣрки теоріи Кирхгоффа. Французская Академія послала астронома Жанссена (1824—1907) въ Остъ-Индію, гдѣ это затменіе могло наблюдаться при особенно благопріятныхъ условіяхъ. Жанссенъ обратилъ свое вниманіе особенно на протуберанцы, эти своеобразныя отвѣтвленія хромосферы, нерѣдко причудливой формы. Онѣ бываютъ очень ярки, а иногда и чрезвычайно велики (рис. 417). Жанссенъ направилъ спектро-

http://mathesis.ru

скопъ на протуберанцы и увидѣлъ спектръ, состоящій изъ свѣтлыхъ линій. Этимъ было доказано, что протуберанцы состоятъ изъ раскаленныхъ газовъ.

Рис. 417.



Солнечные выступы или протуберанцы.

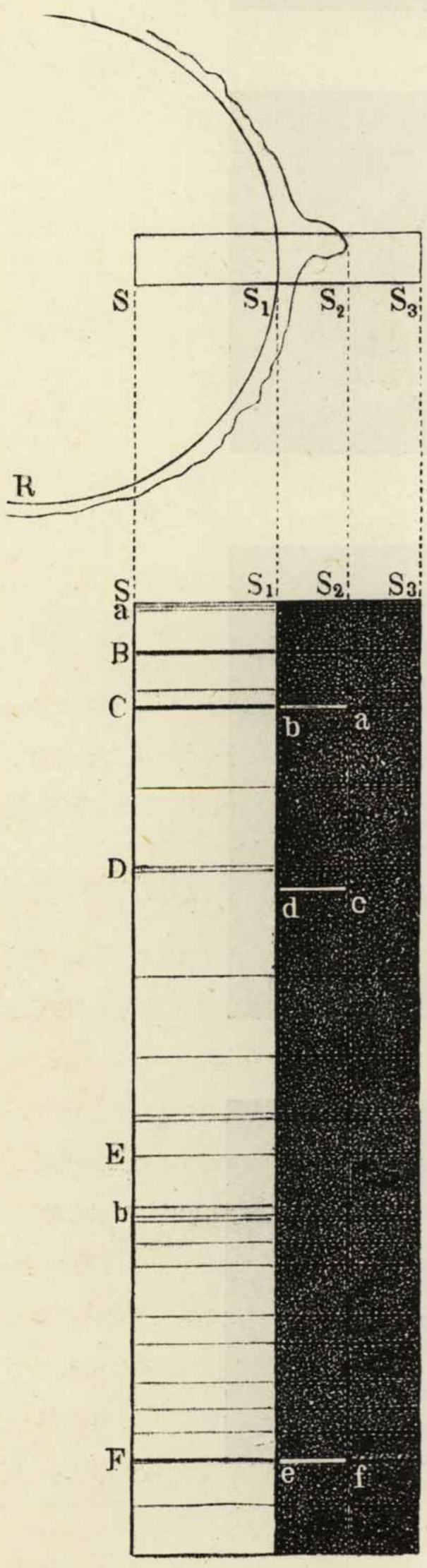
Еще во время этихъ наблюденій Жанссенъ нашелъ способъ видѣть эти протуберанцы въ обыкновенныхъ условіяхъ, т. е. внѣ солнечныхъ затменій. Почти одно-

http://mathesis.ru

временно на тотъ же способъ напалъ и англійскій астрономъ Норманъ Локіеръ (род. 1836), который приложилъ этотъ пріемъ на практикѣ еще раньше, чѣмъ сообщеніе Жанссена достигло Европы.

Протуберанцы можно наблюдать при полномъ солнечномъ свѣтѣ, если замѣнить окулярную часть астрономической трубы коллиматоромъ спектроскопа, притомъ такъ, чтобы щель коллиматора находилась въ самомъ фокусѣ объектива. Затѣмъ труба направляется на солнце такъ, чтобы изображеніе солнечнаго края попадало на щель спектроскопа. На рис. 418 линія *RR* представляетъ изображеніе солнца, а SS_2 щель. Такой спектроскопъ долженъ обладать большимъ разсѣяніемъ и, слѣдовательно, долженъ имѣть большое число призмъ. Свѣтъ отъ SS_1, непосредственный свѣтъ солнца, даетъ обыкновенный спектръ солнца съ Фраунгоферовыми линіями.—Свѣтъ отъ S_1S_2 нѣсколько иной. Отчасти онъ состоитъ изъ обыкновеннаго солнечнаго свѣта, а отчасти изъ свѣта протуберанцы. Но обыкновенный солнечный свѣтъ (дневной свѣтъ), падающій на S_1S_3, слабъ и потому въ сильно разсѣивающій спектроскопъ даетъ лишь слабый спектръ. Напротивъ того, свѣтъ протуберанцы не ослабляется сильнымъ разсѣяніемъ спектроскопа, такъ какъ онъ состоитъ только изъ отдѣльныхъ свѣтлыхъ линій. Такимъ образомъ, послѣднія отчетливо выступаютъ на фонѣ слабаго солнечнаго спектра. На рисункѣ показаны три линіи протуберанецъ. Первая изъ нихъ, *ab*, соотвѣтствуетъ Фраунгоферовой линіи *C*, вторая, *cd*, лежитъ въ желтомъ цвѣтѣ, а третья, *ef*, отвѣчаетъ Фраунгоферовой линіи *F*. Поставивъ щель касательно къ солнечному краю, можно увидѣть форму протуберанцы, если раскрыть щель такъ, чтобы въ ней могло помѣститься изображеніе протуберанцы (рис. 419). Если протуберанца даетъ три спектральныхъ линіи, то, конечно, получается и три ея изображенія различнаго цвѣта.

Рис. 418



Спектръ протуберанцы.

Въ протуберанцахъ всегда есть водородъ и кальцій. Кромѣ того, спектръ протуберанецъ всегда даетъ желтую линію вблизи линіи натрія. До 1895 г. не было извѣстно никакого вещества, которое давало бы эту линію. Элементъ, неизвѣстный въ числѣ земныхъ веществъ, по своему нахожденію на солнцѣ получилъ имя гелія. Только въ указанномъ году Клеве обнаружилъ гелій въ минералѣ клевеитѣ, а Рамзэй изолировалъ и точнѣе изслѣдовалъ его.

Иногда въ протуберанцахъ встрѣчаются также желѣзо, натрій, никкель, кобальтъ, марганецъ, барій, стронцій, титанъ и магній.

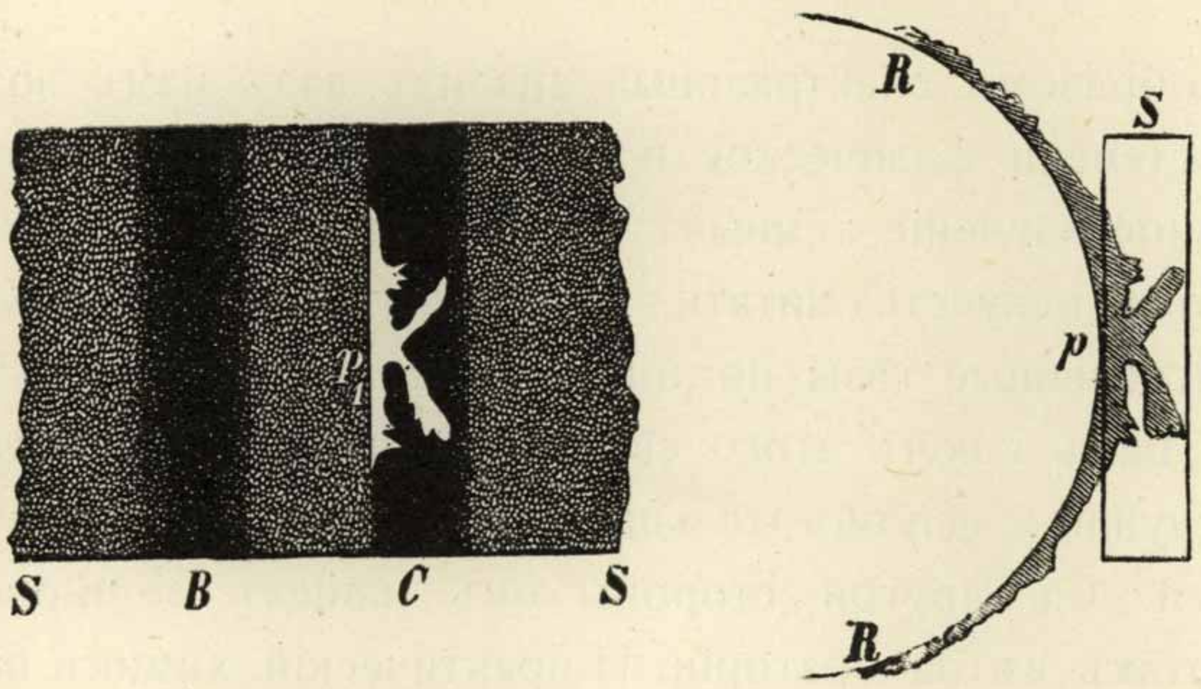
439. Во время солнечнаго затменія можно также изслѣдовать свѣтъ того слоя атмосферы солнца, который лежитъ непосредственно надъ фотосферой. Этотъ слой

http://mathesis.ru

даетъ Фраунгоферовы линіи. Поэтому, если теорія Кирхгоффа вѣрна, то свѣтъ этого слоя долженъ содержать тѣ лучи, которыхъ нѣтъ въ спектрѣ солнца, кромѣ, конечно, лучей, отвѣчающихъ линіямъ поглощенія атмосферы земли (§ 441). Это и подтверждается наблюденіями, которыя дѣлались во время затменій послѣ установленія этой теоріи.

Цѣлый рядъ веществъ является общимъ для протуберанецъ и поглощающаго слоя, но поглощающій слой содержитъ больше, чѣмъ протуберанцы. До настоящаго времени доказано присутствіе на солнцѣ приблизительно 30 земныхъ элементовъ. Спектръ короны даетъ зеленую линію, относительно которой мы не знаемъ, какимъ веществомъ она произведена. Съ другой стороны намъ извѣстно не мало веществъ (напримѣръ, золото и ртуть), линіи которыхъ въ спектрѣ солнца не наблюдались.

Рис. 419



Изображеніе протуберанцы.

440. Спектры неподвижныхъ звѣздъ въ общемъ сходны со спектромъ солнца, но темныя линіи въ нихъ не всегда находятся въ тѣхъ же самыхъ мѣстахъ спектра. Отсюда мы можемъ заключить, что неподвижныя звѣзды, какъ и солнце, имѣютъ раскаленное ядро, окруженное оболочкою раскаленныхъ паровъ.

Секки (ум. 1878) и Фогель раздѣлили звѣзды по ихъ спектрамъ на три группы соотвѣтственно свѣтимости ихъ поверхности. Первая группа охватываетъ спектры „бѣлыхъ“ звѣздъ, которыя имѣютъ такую высокую температуру, что пары металловъ въ ихъ атмосферахъ поглощаютъ свѣтъ лишь немного. Въ этихъ спектрахъ линіи водорода сильны, а линіи металловъ слабы; въ нѣкоторыхъ спектрахъ попадаются и линіи гелія (Сиріусъ, Вега). Вторая группа охватываетъ спектры звѣздъ, которыя находятся въ температурныхъ условіяхъ, сходныхъ съ условіями нашего солнца. Темныя линіи поглощенія сильны и отчетливы (Капелла, Альдебаранъ). Третья группа содержитъ спектры звѣздъ, обладающихъ такой невысокой температурой, что элементы, входящіе въ составъ ихъ атмосферъ, существуютъ уже не въ свободномъ состояніи, а только въ видѣ химическихъ соединеній. Въ этихъ спектрахъ видны темныя линіи и полосы (α Геркулеса). Въ туманностяхъ обнаруженъ водородъ и азотъ. Повидимому, въ спектрѣ туманностей бываетъ и линія гелія.

441. Часть Фраунгоферовыхъ линій производится поглощеніемъ не солнечной, а земной атмосферы. Эти такъ называемыя теллурическія линіи, производимыя азотомъ, кислородомъ и водородомъ, замѣтны рѣзче всего при низкомъ стояніи солнца,

http://mathesis.ru

такъ какъ тогда лучи свѣта должны проходить бо̀льшую толщу воздуха, чѣмъ при высокомъ положеніи солнца.

Спектроскопическое изслѣдованіе свѣта планетъ показало, что Меркурій, Венера и Марсъ имѣютъ атмосферы, не очень отличающіяся отъ атмосферы земли. Напротивъ того, свѣтъ Юпитера и Сатурна даетъ одну полосу поглощенія, которая обусловливается либо особымъ газомъ, либо тѣми условіями давленія и температуры, которыя господствуютъ на этихъ планетахъ. Атмосферы Урана и Нептуна очень отличаются отъ земной атмосферы и во всякомъ случаѣ содержатъ вещество, не имѣющееся въ атмосферѣ земли.

Спектръ луны совершенно совпадаетъ съ спектромъ солнца—очевидное доказательство того, что луна не имѣетъ замѣтной атмосферы.

Кометы частью даютъ слабый сплошной спектръ (отраженный свѣтъ солнца), частью спектръ углеводородовъ. Въ иныхъ кометахъ наблюдались также линіи натрія и желѣза.

442. Такимъ образомъ, спектральный анализъ далъ намъ возможность изслѣдовать до извѣстной степени физическое и химическое строеніе самосвѣтящихся небесныхъ тѣлъ. Тщательное изученіе темныхъ линій солнечнаго спектра Фраунгоферомъ было первымъ шагомъ искусства читать этотъ языкъ цвѣтовъ, а Кирхгоффъ своимъ открытіемъ, что раскаленные газы поглощаютъ и излучаютъ свѣтъ одной и той же длины волны, далъ намъ ключъ этого свѣтового шифра. Въ настоящее время спектральный анализъ служитъ вспомогательнымъ средствомъ для научныхъ открытій многихъ изслѣдователей. Съ другой стороны онъ нашелъ обширное примѣненіе при практическихъ работахъ въ лабораторіи. И практическій химикъ пользуется не только спектрами излученія со свѣтлыми линіями для обнаруженія присутствія какого-нибудь вещества, но также и спектрами поглощенія съ темными линіями и полосами, которыя даетъ свѣтъ, пройдя сквозь поглощающее вещество. Получающійся спектръ является признакомъ поглощающаго вещества и многіе пары и жидкости даютъ очень характерные спектры поглощенія.

Спектральный анализъ нашелъ чрезвычайное обширное примѣненіе. Астрофизикъ при помощи своего телескопа со спектроскопомъ обнаруживаетъ присутствіе водорода въ звѣздахъ, удаленныхъ отъ насъ на тысячи свѣтовыхъ годовъ, а практическій химикъ на судѣ пользуется спектроскопомъ, чтобы установить фактъ фальсификаціи вина или отравленія окисью углерода. —Ньютонъ былъ правъ, назвавъ изученіе чистаго спектра многообѣщающей задачей (ср. § 422).

Кирхгоффъ имѣлъ счастье дожить до быстраго и плодотворнаго развитія спектральнаго анализа. Съ 1868 г. онъ сталъ болѣть и былъ лишенъ возможности заниматься экспериментальными изслѣдованіями, когда въ 1875 г. онъ былъ приглашенъ въ Берлинъ. Какъ достойный ученикъ Неймана, онъ отдалъ свои послѣднія силы изслѣдованіямъ по математической физикѣ. Онъ умеръ въ 1887 г. Его другъ и сотрудникъ Бунзенъ, великолѣпный экспериментаторъ, умеръ въ 1899 г.

http://mathesis.ru

Указатель I тома.

Аберраціа свѣта 261.
Агаѳаркъ 72.
Адамсъ, J. C. Adams 287.
Accademia del Cimento 326.
Аккомодація глаза 102.
Алькуинъ 46.
Альгазенъ 90, 99, 101
Аль-Мамунъ 44.
Альфонсъ X 46.
Анаксагоръ 72.
Анаксимандръ 34.
Анаморфозы 88.
Арабы 44.
Араго, D. F. Arago 263.
Ареометръ 190; Никольсона 191.
Аристархъ 23 и сл., 33.
Аристотель 22, 46, 74, 101, 103, 114, 135, 137, 141, 144, 161, 182, 195, 214, 216, 367, 374.
Армати, Salvino degli Armati 102.
Арфа эолова 341.
Архимедъ 25, 83, 114 и сл., 153, 178 и сл., 189.

Барнардъ, E. E. Barnard 291.
Барометръ 218; водяной 228.
Бартолинъ, Bartholinus 257, 383.
Бегаймъ, Behaim 49.
Безменъ 112.
Бенедетти, Benedetti 163.
Бенценбергъ, Benzenberg 277, 326.
Берберини, Berberini 142.
Бернулли, Jean Bernoulli 158.
Бессель, F. W. Bessel 287, 313 и сл.
Билье, Billet 378.
Билянцъ 153.
Біанкони, Bianconi 326.
Біенія 324.
Біо, J. B. Biot 334.
Блокъ 125, 127.
Боде, Bode 295.
Бойль, Robert Boyle 232, 271, 326.
Бойсъ, Boys 287.
Боме, Baumé 191.
Борелли, Borelli 274.
Браге Тихо, Tycho Brahe 12, 29, 54 и сл. 76, 145, 155, 251, 289, 297.
Брадлей, James Bradley 260, 301
Брама, J. Bramah 188.
Брустеръ, J. Brewster 83, 105, 269, 380, 400.
Бугеръ, Bouguer 254, 284.
Бунзенъ, R. W. Bunsen 418 и сл.
Бэконъ Р., Roger Bacon 16, 75, 83, 96.
Бэконъ Ф., Francis Bacon 159.
Бэли, Baily 286.

Валленштейнъ, Wallenstein 66.
Валлисъ, J. Wallis 170
Вальтеръ, B. Walther 48.
Веберъ, W. und E. Weber 328.
Вентури, Venturi 375
В'ерде, B. Verde 207.
Вернье (Вернеръ) П., P. Vernier (Werner) 251.
Вивіани, Viviani 143.
Виллисъ, Willis 356.
Винтъ 114.
Винчи, Leonardo da Vinci 102, 105, 125.
Вителло, Vitello 374.
Витрувій 178.
Витстонъ, Wheatstone 105, 356.
Возмущенія планетныя 287.
Волны въ водѣ 326; въ воздухѣ 330.
Восхожденіе прямое 29.
Вращеніе земли 52, 276.
Вульстенъ, W. Wollaston 409—410.
Вѣсъ воздуха 218, 238; удѣльный 189 и сл.
Вѣсы 111; гидростатическіе 189; Робервaля 130.
Высота тона 322.

Галилей, Galileo Galilei 97, 134 и сл., 155, 160, 168, 170, 174, 187, 215, 216, 258, 259, 292 302, 308.
Галле, Galle 288.
Галлей, E. Halley 241, 261, 278, 289, 298, 307, 326.
Гардингъ, Harding 296.
Гармонія 349.
Гарсіа, M. Garcia 356.
Гарунъ-аль-Рашидъ 152.

http://mathesis.ru

Гассенди, P. Gassendi 325, 326.
Гауссъ, C. F. Gausz 296.
Геле, P. Hele 158.
Геліометръ 312.
Гельмгольцъ, Hermann v. Helmholtz 344 и сл., 353, 356.
Гендерсонъ, Henderson 315.
Генке, Henke 296.
Георгъ Трапезундскій 47.
Герике, Otto v. Guericke 224 и сл.
Геронъ 80, 152, 194 и сл., 214, 216.
Гершель В., William Herschel 287, 304 и сл.
Гершель Дж., John Herschel 312.
Гершель Каролина, Caroline Herschel 305
Гетальди, M. Ghetaldi 189.
Гёте, W. Goethe 380.
Гидростатика 179.
Гизе Кульмскій 52.
Гиппархъ 28 и сл., 42
Гиппократъ 189.
Глазъ 102
Гласныя 356.
Глобусъ небесный 7.
Глэшеръ, J. Glaisher 246.
Гномонъ 11.
Годенъ, Godin 254.
Голлъ, A. Hall 291.
Голосъ 355.
Горизонтъ 5.
Горло 355.
Гороскопъ 66.
Горребовъ, P. Horrebow 260.
Горы лунныя 139.
Граммъ 256.
Грегори, J. Gregory 270
Григорій XIII 16.
Гримальди, F. Grimaldi 382—383, 396.
Гукъ, R. Hooke 158, 241, 271, 274 и сл., 368.
Гульельмини, Guglielmini 277.
Гэ-Люссакъ, Gay-Lussac 263.
Гюйгенсъ, Christian Huyghens 151, 155 и сл., 164, 170, 253, 326, 341, 389—390.

Давленіе боковое въ водѣ 186; воды 183; воздуха 218; на дно 184.
Д'Арландъ, D'Arlandes 245.
Движеніе волнообразное 326 и сл; маятника 149.
Декартъ, Réné Descartes 99, 162, 170, 368, 376.
Делюкъ, Deluc 238.
Демокритъ 72, 73, 385.
Дергэмъ, W. Derham 326.
Дёрфель, Dörfel 297.
Диффракція свѣта 382.
Діонъ Кассій 17.
Длина свѣтовой волны 395.
Дове, Dove 353.
Долгота географическая 35.
Доллондъ, J. Dollond 373.
Доминисъ, A. de Dominis 376.
Дондерсъ, F. C. Donders 356.
Дорога желѣзная пневматическая 241.
Дуга дневная и ночная 6.
Дѣленіе времени 13; круга 11.

Евклидъ 101.
Евстахіо, B. Eustachio 361.

Жанссенъ, P. J. Janssen 426.
Жолли, Jolly 287.

Законъ Бойля 235; Кеплера 65, 280; преломленія 100.
Затменія лунныя 40
Звѣзды двойныя 309; неподвижныя 304; движенія 307, 317; число 308; разстояніе 308, 314
Зеебекъ, Seebeck 353.
Земля, форма 21, 50, 249; движеніе 24, 40, 276, 277; величина 23.
Зенитъ 12.
Зеркало вогнутое 84; выпуклое 88; глазное 344; горловое 356.
Зодіакъ 7.

Измѣреніе высотъ барометромъ 237; градусное 249 и сл.
Инструменты меридіанные 28.
Интервалы благозвучные 348.
Интерференція звуковыхъ волнъ 339; свѣтовыхъ 413.

Іенсенъ, Jensen 98.
Іонгъ, Thomas Young 392—397.

Кабео, Cabeo 301.
Кавалло, Cavallo 244.
Калейдоскопъ 83.
Календарь Юліанскій 15; Григоріанскій 16.
Каллиппъ 15.
Камера-обскура 74, 94.
Камертонъ 325, 340.
Каньяръ Делатуръ, Cagniard de la Tour 353.
Кардани (ъ), G. Cardani 124.
Карлъ Великій 46, 152.
Карты, ихъ черченіе 36.
Кассини Д., Domenico Cassini 256, 258 и сл., 289, 326.
Кастелли, P. Castelli 371.
Кемпеленъ, von Kempelen 356.

http://mathesis.ru

Кёнигъ, König 287.
Кеплеръ, Johannes Kepler 60 и сл.. 76, 98, 100, 102, 273. 289. 295, 297, 302, 368.
Кирхгоффъ, G. R. Kirchhoff 418 и сл.
Кирхеръ, A. Kircher 341.
Клапанъ 201
Кларкъ, Clark 317.
Клеве, Cleve 428.
Клеомедъ 40, 89
Клингеншерне, S. Klingenstjerne 373
Ко, S. de Caus 208.
Коксвелль, Coxwell 246.
Колеса водяныя 211; зубчатыя 153.
Колладонъ, Colladon 333.
Колодцы артезіанскіе 183.
Колоколъ водолазный 241.
Колумбъ 48 и сл.
Кольца Ньютоновы 393, 396; Сатурна 156.
Кометы 9, 297.
Кондаминъ, Condamine 254, 284, 326.
Коперникъ 27, 51 и сл. 289.
Корню, Cornu 362.
Корти, Corti 266.
Кратценштейнъ, Kratzenstein 356.
Кремеръ, G. Kremer 38,
Ктезибій 151, 178, 194, 200.
Кубокъ волшебный 199.
Кэвендишъ, Henry Cavendish 285.

Лагранжъ, Lagrange 325.
Лактанцій 89.
Лана, Lana 244.
Лапласъ, P. S. Laplace 332.
Лассель, Lassel 306.
Laterna magica 95.
Леверрье, Leverrier 288.
Лекселль, Lexell 299.
Лейбницъ, Leibnitz 270.
Линзы 90; ахроматическія 374; собирательныя 91.
Линіи Фраунгофера 411 и сл.
Линъ, F. Linus 234.
Липперсгей, Lippershey 97.
Лиссажу, Lissajou 351.
Локіеръ, N. Lockyer 428.
Лонгомонтанъ 62.
Луна, движеніе 8, 272; разстояніе 26, 28; время обращенія 8; строеніе 292.
Людовикъ XIII, Louis XIII 35.

Мавроликъ 76, 90, 94, 102.
Малюсъ, E. Malus 397 и сл.
Маріоттъ, E. Mariotte 104, 237.
Маріусъ (Майръ), Marius (Mayr) 291.
Марсъ 293.
Марцеллъ 115.
Марци, M. Marci 170, 367.
Маскелайнъ. Maskelyne 285.
Масса земли 284 и сл.; небесныхъ тѣлъ. 283.
Маятникъ циклоидальный 158.
Мельвилль, Th. Melville 416.
Мельница вѣтряная 207; ступальная 206.
Меридіанъ 35.
Меркаторъ, Mercator 38.
Мерсеннъ, Mersenne 163, 221, 323, 326.
Метонъ 14.
Метръ 113, 255.
Мецій, Metius 97.
Миллерсъ, Millers 417.
Митчелль, J. Mitchell 285.
Млечный Путь 311.
Молинё, S. Molyneux 260.
Монгольфье, Mongolfier 244.
Монте, Ubaldo del Monte 125, 126, 137.
Мопертюи, Maupertuis 255.
Морепа, Maurepas 254.
Морзингъ, Morsing 62
Мэстлинъ, Mästlin 63.

Надиръ 12.
Насосъ воздушный 226; всасывающій 205. нагнетательный 204, 240; пожарный 202.
Начало Архимеда 181; возможныхъ перемѣщеній или скоростей 129; Гюйгенса 389.
Нейманнъ, F. Neumann 418.
Нептунъ 288.
Никольсонъ, Nicholson 191.
Нобль, W. Noble 340.
Нолле, Nollet 231.
Ноніусъ 251.
Норвудъ, Norwood 249.
Нуньесъ, Nunez 251.
Ньютонъ, Jsaac Newton 168, 253, 268 и сл., 276, 284, 297, 299 и сл., 326, 331, 368, 385 и сл., 399, 409.

Обертоны 342.
Ольберсъ, Olbers 296.
Омаръ 44.
Онгстрёмъ, A. Ångström 423.
Опытъ Торричелли 217.
Органъ Кортіевъ 362; слуха 360.
Освальдъ, Oswald 341.
Отраженіе свѣта 80 и сл.; полное внутреннее 100; волнъ 336; звука 337.

Паденіе по наклонной плоскости 132 и сл. свободное 136, 145.

http://mathesis.ru

Папинъ, D. Papin 232.
Парадоксъ гидростатическій 184.
Параллелограммъ силъ 167.
Парменидъ 21.
Паскаль, Blaise Pascal 220 и сл., 234.
Періодъ звѣзды Пса (Сотисъ) 14.
Перспектива 72.
Перье, Perrier 221.
Пиготъ, Pigot 340.
Пикаръ, Picard 62, 249, 253, 256, 260, 326.
Пипетка 199.
Пиѳагоръ 19, 322.
Піацци, Piazzi 296.
Планетоиды 296.
Планеты 9, 42, 52.
Платонъ 22, 74, 114.
Плиній 89.
Плоскость наклонная 133, 148.
Площадь круга 116.
Подвѣсъ Кардановъ 124.
Полибій 115.
Полиспасты 114, 128; дифференціальный 129.
Полушарія Магдебургскія 227.
Полюсъ міра 5; смѣщеніе 33.
Поляризація свѣта 399.
Порта, Giambattista della Porta 94, 96, 97, 102, 151.
Посидоній 39.
Предвареніе равноденственныхъ точекъ (прецессія) 33, 300.
Преломленіе атмосферное 41; двойное 384, 397, 403; звуковыхъ волнъ 338; свѣта 41, 89 и сл.
Прессъ винтовой 133; гидравлическій 188.
Призма 90; Николева 404.
Приливы и отливы 301, 330.
Притяженіе небесныхъ тѣлъ 280.
Проекція коническая 37; Меркаторская 38; стереографическая 36.
Протуберанцы 425.
Прохожденія Венеры 289.
Пти, Petit 163.
Птолемей 23, 33, 37, 41, 42, 43, 44, 47, 74, 83, 89, 99.
Пурбахъ, Purbach 47.
Пустота 195, 217, 226.
Пятна солнечныя 140, 425.

Равновѣсіе 123, 126; плавающихъ тѣлъ 181.
Равноденствіе весеннее и осеннее 7.
Радуга 374.
Рамзэй, W. Ramsay 349.
Рамо, J. Rameau 428.
Распространеніе свѣта 71; звука 325, 331.
Регіомонтанъ 47, 251.
Рейхъ, Reich 277.
Резонансъ въ трубахъ 345.
Резонаторъ 347.
Рёмеръ, Ole Römer 157, 256 и сл., 326.
Ренъ, Ch. Wren 170, 271.
Реньо, Regnault 236.
Ретикъ, Rhaeticus 52.
Риччіоли, Riccioli 249.
Рише, Richer 252, 289.
Рихарцъ, Richarz 287.
Робервалъ, Roberval 130.
Робисонъ, Robison 353.
Розье, Pilatre de Rozier 245.
Ромэнъ, Romain 245.
Румфордъ, Rumford 78.
Рычагъ 109, 119.
Рѣшетка оптическая 414.

Сагредо, Sagredo 137.
Сатурнъ 292.
Сванъ, W. Swan 417.
Свистокъ 346.
Сводъ небесный, вращеніе 21.
Свѣторазсѣяніе 368.
Секки, A. Secchi 429.
Сенека. 88, 367.
Сетосъ 175.
Сжатіе земли 253.
Сикстъ IV 48
Сила центробѣжная 164.
Сирена 353.
Система міра Коперника 52; Птолемея 43 Тихоніанская 60.
Система планетная 291.
Сифонъ 197, 222.
Скіапарелли, G. Schiaparelli 291.
Склоненіе 29.
Скопленія звѣздныя 311.
Скорость свѣта 256 и сл.; звука 326, 332; въ водѣ 333.
Снелліусъ (Снелль), Snellius 99, 249.
Совёръ, J. Sauveur 324, 342.
Созвѣздія 5.
Созигенъ 15.
Солнце, движеніе 7; разстояніе 27, 28, 289; строеніе 424.
Солнцестояніе зимнее и лѣтнее 7.
Сосудъ Маріотта 239; Паскаля 184; сообщающіеся 182.
Сотисъ 14.
Сохраненіе энергіи 175.
Спектроскопъ 420.
Спектръ 368 и сл.; диффракціонный 396, 413.

http://mathesis.ru

415, 423; излученія 430; поглощенія 430; звѣздъ 429.
Спенсеръ, H. Spencer 356
Спутники 291; Юпитера 138.
Стевинъ, Stevin 127, 133, 147, 167, 180 и сл., 185, 301.
Стекло увеличительное 93.
Стереоскопъ 105.
Стоксъ, G. Stokes 380.
Страбонъ 301.
Сутки звѣздныя и солнечныя 30.

Тальботъ, F. Talbot 416.
Тарталья, Tartaglia 124, 161.
Тартини, Tartini 325.
Телескопъ Гершеля 306; зеркальный 270.
Теодорихъ, Theodoricus de Saxonia 375.
Теорія волнообразная 389; истеченія 386, 388.
Тиндалль, J. Tyndall 336.
Тиціусъ (Тицъ), Titius (Tietz) 295.
Тоны симпатическіе 340; Тартиніевы 350.
Торричелли, Evangelista Torricelli 143, 170, 216 и сл.
Тосканелли, Toscanelli 49.
Точка весенняго равноденствія 8; смѣщенія 32.
Тріангуляція 249.
Труба зрительная 96.
Трубки Гейслеровы 422.
Трубы Евстахіевы 361; органныя 346; язычковыя 354.
Туманности 311.
Тэйлоръ, Brook Taylor 323.

Уголъ часовой 29.
Узлы при колебаніяхъ 342.
Уллоа, Ulloa 254.
Ураніенборгъ 57.
Устойчивость 123.
Ухо 360.
Ученіе о тѣняхъ 73.

Фазы луны 8.
Факелы солнечные 425.
Фарадэй, Michel Faraday 405.
Фаренгейтъ, Fahrenheit 191.
Ферма, P. Fermat 274.
Фернель, J. Fernel 249.
Фигуры Лиссажу 351; на звучащихъ пластинкахъ 342.
Физо, H. L. Fizeau 264.
Фирусъ 207.
Флуоресценція 380.
Флэмстидъ, Flamsteed 260, 297, 326.
Фогель, H. C. Vogel 429.
Фонографъ 359.
Фотометрія 78.
Фракасторо, Fracastoro 96.
Фраунгоферъ, J. Fraunhofer 312, 410 и сл.
Френель, A. J. Fresnel 400.
Фуко, L. Foucault 266.

Хименесъ, Ximenes 45.
Хладни, Chladni 342.
Хромосфера 425.

Цахъ, Zach 296.
Цвѣта 367 и сл.; дополнительные 381 и сл.; радуги 368.
Цезарь 15, 151.
Цёлльнеръ, Zöllner 424.
Цельсій, Celsius 255.
Центръ тяжести 119.
Циклоида 157.
Циклъ Метона 15.
Цукки, N. Zucchi 271.

Чаллисъ, Challis 287.
Часы 151; водяные 151; карманные 158; песочные 153; солнечные 31.
Числа колебаній звука 325; свѣта 395.

Шарль, Charles 244.
Шаробразность земли 20.
Шаръ воздушный 244; Героновъ 202.
Швердъ, Schwerd 415.
Шейнеръ, Scheiner 98, 102, 104.
Ширль, Shyrl 98.
Широта географическая 34.
Штейнгейль, Steinheil 421.
Штурмъ, Sturm 333.
Шутенъ, van Schooten 163, 170.

Эвдоксъ, 42.
Эдисонъ, Th. Edison 359.
Эйлеръ, L. Euler 373, 391 и сл.
Экваторъ небесный 5.
Эклиптика 7, 24.
Элликотъ, Ellicot 341.
Энергія 175.
Эпициклъ 43.
Эратосѳенъ 23.
Эри, G. B. Airy 287, 330.

Янсенъ, Jansen 97.

Ѳалесъ 17, 18, 34.
Ѳеодоръ Самосскій 12.

http://mathesis.ru

http://mathesis.ru