Михаилъ Максимовичъ
Кабанцы.

Историческая Физика

http://mathesis.ru

http://mathesis.ru

П. Лакуръ и Я. Аппель

Историческая Физика.



Переводъ съ нѣмецкаго подъ редакціей

„Вѣстника Опытной физики и Элементарной Математики“.

MATHESIS

Одесса, 1908

http://mathesis.ru

Бланкоиздательство М. Шпенцера, Одесса, Новосельская, 66.

http://mathesis.ru

ТОМЪ II

Теплота—Магнитизмъ—Электричество до

1790 г.—Электрическій токъ—Погода

Съ 380 рисунками и портретами въ
текстѣ и 4 цвѣтными метеорологиче-
скими картами.

http://mathesis.ru

http://mathesis.ru

Содержаніе

§§ 1—189. **Теплота**

стр.

Ощущеніе теплоты и ея измѣреніе 3
Паръ 45
Природа теплоты 107
Лучистая теплота 113
Теплопроводность 130
Природа теплоты 139
Механическая теорія теплоты 157

§§ 190—250. **Магнитизмъ**

Магнитизмъ.—Стрѣлка склоненій 165
Вильямъ Гильбертъ 173
Земной магнитизмъ 187

§§ 251—303. **Электричество до 1790 г.**

Электричество отъ тренія 219

§§ 304—408. **Электрическій токъ**

Гальванизмъ 275
Природа веществъ 292
Электромагнитизмъ 333
Термоэлектричество 344
Законъ Ома 345
Индукція 351
Вольта. Эрстедъ. Фарадэй 360
Аккумуляторы 366
Полученіе тепла и свѣта при помощи электрическаго тока . . . 368
Электрическіе разряды въ разрѣженномъ воздухѣ 373
Телеграфія и телефонія 381

§§ 409—455. **Погода**

До изобрѣтенія барометра 395
Метеорологическіе инструменты 396
Климатъ 405
Истолкованіе 407
Восходящія и нисходящія теченія 413

Приложеніе. Радіоактивность 423
Алфавитный указатель 427

http://mathesis.ru

http://mathesis.ru

Систематическій обзоръ содержанія I тома

Теплота

Расширеніе отъ теплоты: газовъ 6, 30—33; жидкостей 7, 28—30; воды 29—30; твердыхъ тѣлъ 23—28.

Измѣреніе температуры и количества теплоты: воздушный термометръ 8—10, 30, 117—118; термометръ съ жидкостью 11—12, 16—21; металлическій термометръ 27; термоэлектрическій столбикъ 122—123; калориметръ 43.

Измѣненіе физическаго состоянія: таяніе и замерзаніе 33, 158; измѣненіе объема при таяніи 34—35, 158; точка плавленія 36; точка плавленія и давленіе 37, 158; переохлажденіе 37; испареніе и конденсація 45, 62, 159—160; измѣненіе объема при образованіи паровъ 46—49; кипѣніе 72; дестилляція (перегонка) 297; сжиженіе газообразныхъ тѣлъ 298; критическая температура 299—300.

Удѣльная теплота, скрытая теплота: удѣльная теплота 42—45, теплота плавленія 40—42; охладительныя смѣси 35; теплота испаренія 63—68; машина для приготовленія льда 66—67.

Паръ: давленіе пара 46—51, 160; Папиновъ котелъ 54; измѣреніе давленія пара 70—76; дѣйствіе конденсатора 76—77; различіе между паромъ и газомъ 299, 306; паровая машина 47, 49—53, 54—61, 76—84; измѣреніе работы паровыхъ машинъ (индикаторъ) 84—89; лошадиная сила 84; паровой котелъ 102—105; пароходъ 90—99; пароходный винтъ 97—99; паровые экипажи 99—106.

Распространеніе теплоты: лучистая теплота 113—130, равновѣсіе излученія 115—116; лучеиспусканіе 115—119; поглощеніе тепловыхъ лучей 119—120; лучеиспусканіе въ различномъ направленіи 120; тепловой спектръ 124—127; теплопрозрачность 126—128; излученіе источниковъ свѣта 127; излученіе солнца 128—129; теплопроводность 130—131, 133—136; стаціонарное тепловое состояніе 132—134; теплопроводность и температура 134—135; безопасная лампа 134—135; „варка въ сѣнѣ“ 137—138; ледникъ 138; теплопроводность земли 138—139.

Природа теплоты: попытки взвѣсить теплоту 108; теплота, какъ движеніе 110—113; круговой процессъ Карно 139—143; тепловая энергія 144—147, 148—152; механическій эквивалентъ тепла 146—157; механическая теорія теплоты 157—161.

Магнитизмъ

Магнитный камень: притягательная сила магнитнаго камня 165—166; магнитный камень, какъ направляющая стрѣлка 167.

Склоненіе: направляющая стрѣлка 166—169; полюсы направляющей стрѣлки 169—170; отклоненіе стрѣлки отъ меридіана 170—172, 173—175, 187—190; карта склоненій 177, 196—200; суточное измѣненіе склоненія 190, 209—211; вѣковыя измѣненія 198—200, компасъ 167—169, 213—215.

Наклоненіе: стрѣлка наклоненія 172—174; карта наклоненій 202; измѣненіе наклоненія 201—203.

http://mathesis.ru

Земной магнитизмъ: земля, какъ магнитъ 173, 188—193, 209; магнитные полюсы 195; напряженіе земного магнитизма 203; дѣйствіе земли на магнитную стрѣлку 181; магнитныя обсерваторіи 209; магнитныя бури 210.

Искусственные магниты: намагничиваніе стали 167, 182—185; мягкое желѣзо и сталь 182, задерживательная сила 182—183; строеніе магнита 180, 182; полное намагничиваніе 184; сохраненіе магнита 186.

Взаимодѣйствіе магнитовъ: притяженіе и отталкиваніе 169—170; намагничиваніе чрезъ вліяніе 177—179; дѣйствіе полюсовъ на разстояніе 180—181.

Электричество

Источники электричества: электричество отъ тренія 219—221; электрическія машины 221, 229—232, 251—252; электрофоръ 264; электрофорная машина 265; электричество при соприкосновеніи 280; Вольтовъ столбъ 283; гальваническіе элементы 284—287, 331—333; электричество отъ теплоты 344—345; индуктивное электричество 351—355; магнитная индукція 353, Вольтаическая индукція 354; магнитоэлектрическія машины 355—357; электродинамическій принципъ 357; динамомашины 358—360.

Статическое электричество: электрическое притяженіе и отталкиваніе 219, 220, 222, 227; два рода электричества 228; хорошіе и дурные проводники электричества 224—226; электричество чрезъ вліяніе 238—241, 244—246, 260, 261—263; лейденская банка 232—234, 236—238; Франклинова доска 234; электричество облаковъ 243—244; громоотводъ 246—249; дѣйствіе остроконечій 241—243; распредѣленіе электричества на проводникѣ 256—257; потенціалъ 258; ёмкость 260; электрическія силовыя линіи 260; діэлектрики 263; приборы для измѣренія статическаго электричества 232, 252—256, 280, 281—282; теоріи электричества 235—236, 240—242.

Электрическій разрядъ: электрическая искра 223, 229, 242, 267—270; продолжительность электрической искры 267; молнія 243; энергія электрическаго разряда 269—270; физіологическія дѣйствія разряда 232, 233, 244, 270; животное электричество 271.

Электрическій токъ: токъ Вольтова столба 286—290; направленіе тока 288—291; сила тока 325, 338, 348; развѣтвленіе тока 350; электродвижущая сила 286, 290, 344—349; разность напряженій 349; напряженіе въ цѣпи 350; сопротивленіе 346—348; проводимость 351; законъ Ома 345—351.

Природа веществъ: основное вещество 293, 295—296, 302, 306, 308, 314—316; атомъ, атомный вѣсъ 294, 314—317; молекула, молекулярный вѣсъ 317—318; кислоты, основанія, соли 318—319; атомность 318; сродство 319; дестилляція (перегонка) 297, 300; сжиженіе газовъ 298—300; критическая температура 299; превращеніе металловъ, приготовленіе золота, философскій камень 302—305; ученіе о флогистонѣ 309; опыты Кэвендиша, Пристлея и Лавуазье 310—314.

Электрохимія: химическое дѣйствіе тока 287—289, 320—333; опыты Фарадэя и электролитическій законъ 325—326; передвиженіе іоновъ 327—328; гальванопластика и гальваностегія 329; примѣненіе электролиза въ промышленности 330; постоянные элементы 331—333.

Аккумуляторы: 366—368.

Термоэлектричество: 344—345.

Электромагнитизмъ: открытіе Эрстеда 334—337; мультипликаторъ 337—338, тангенсъ-гальванометръ 338; электромагнитъ 342—343; электрическій звонокъ 343; изслѣдованія Ампера о взаимодѣйствіи электрическихъ токовъ 339—341; соленоиды 341; Амперова теорія магнитизма 341.

Индукція: магнитная индукція 351—353; Вольтаическая индукція 354; законъ Ленца 355; приборъ Румкорфа 373—374; самоиндукція 373; магнитоэлектрическія машины 356; динамомашины 358—360.

http://mathesis.ru

Полученіе тепла и свѣта при помощи электрическаго тока: законъ Джауля 368, величина работы тока 370; лампа накаливанія 369, дуговая лампа 371; короткое замыканіе 368.

Электрическій разрядъ въ разрѣженномъ воздухѣ: изслѣдованія Фарадэя 374; Гейсслеровы трубки 375, анодный и катодный свѣтъ 375, катодные лучи 376—379; Рёнтгеновскіе лучи 379—381.

Телеграфія и телефонія: электрическій телеграфъ Зёммеринга 382; телеграфъ со стрѣлкой 383, телеграфъ съ циферблатомъ 384; телеграфные знаки 383; телеграфированіе по одному проводу 383; пишущій телеграфъ 385—387; проведеніе телеграфной линіи 387; безпроволочная телеграфія 388; фонотелеграфія 388—389; телефонъ Рейса 389—390; телефонъ Белля 390—391; микрофонъ 392.

Погода

Измѣрительные инструменты: барометръ 396—399; термометръ 399; гигрометръ 401—402; дождемѣръ 404; приборы для измѣренія вѣтра (анемометры) 404; „самопишущіе“ приборы 405.

Климатъ: метеорологическія наблюденія Т. Браге 395—396; суточныя и годовыя измѣненія теплоты 406—407; распредѣленіе теплоты на землѣ 407; распредѣленіе атмосфернаго давленія 407; пассаты и муссонъ 408—409; антипассатъ 409.

Погода и ея измѣненія: старыя правила погоды 395—396; старыя теоріи 408—409; законъ Байсъ-Балло 409—413; равновѣсіе воздуха 413; восходящія и нисходящія теченія 413—420; вихри 414—417; карты погоды 411—413; облака 414, 418; дождь 414; снѣгъ 420; градъ 416; круги и ложныя солнца 420—421.

http://mathesis.ru

Въ настоящей книгѣ метрическія мѣры обозначены сокращенно:

м = метръ,	*г* = граммъ,
см = сантиметръ,	*кг* = килограммъ.
мм = миллиметръ,	
км = километръ,	

Квадратныя мѣры отмѣчены прибавкой впереди буквъ *кв*, кубическія *кб*.

Даты указаны по новому стилю.

http://mathesis.ru

Теплота

http://mathesis.ru

http://mathesis.ru

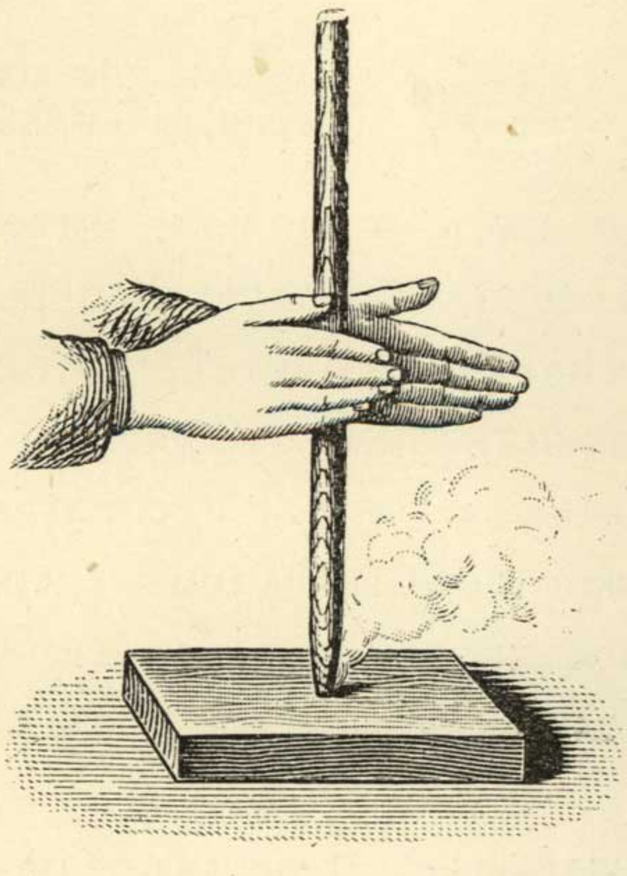
Ощущеніе теплоты и ея измѣреніе

1. Какъ свидѣтельствуетъ исторія открытій, можно сказать, всѣ народы уже очень давно владѣли искусствомъ „добывать огонь“. Для этого требуются лишь очень простыя средства, а именно — сухое дерево, которое можно треніемъ заставить разгорѣться.

На рис. 1 изображенъ способъ добывать огонь, бывшій до послѣдняго времени въ употребленіи у островитянъ Тихаго океана. Заостреннымъ коломъ изъ сухого дерева трутъ о деревянную подставку. Подставка состоитъ изъ твердаго, а колъ изъ мягкаго и легко воспламеняющагося дерева. Опытные островитяне владѣютъ, говорятъ, этимъ приборомъ съ такой ловкостью, что конецъ деревянной палки загорается въ нѣсколько секундъ.

Вмѣсто обыкновенной деревянной палки многіе народы для добыванія огня употребляли буравъ, приводимый въ движеніе либо руками (рис. 2), либо при помощи

Рис. 1



Добываніе огня островитянами Тихаго океана.

Рис. 2



Буравъ для добыванія огня (Мексика).

веревки или ремня (рис. 3). При второмъ способѣ вращенія достигается очень сильное дѣйствіе; къ нему прибѣгаютъ въ томъ случаѣ, когда въ распоряженіи нѣтъ подходящихъ для этой цѣли сортовъ дерева. У индѣйцевъ въ Америкѣ найденъ былъ очень практичный буравъ, изображенный на рис. 4. Стержень бурава охватывается срединой шнурка, концы котораго прикрѣплены къ концамъ дуги длиной въ 3 фута. На нижней части стержня находится тяжелое кольцо. Если намотать шнурокъ на

http://mathesis.ru

стержень и затѣмъ потянуть дугу внизъ, то шнурокъ разматывается и буравъ приходитъ въ быстрое вращеніе. Когда шнурокъ размотанъ до конца, буравъ продолжаетъ вращаться вслѣдствіе инерціи тяжелаго кольца, шнурокъ снова наматывается (въ противоположномъ направленіи) и дуга подымается. Когда она достигаетъ своей первоначальной высоты, ее вновь тянутъ внизъ и т. д. Это движеніе продолжаютъ до тѣхъ поръ, пока не получатся искры, при помощи которыхъ можно зажечь кусокъ трута.

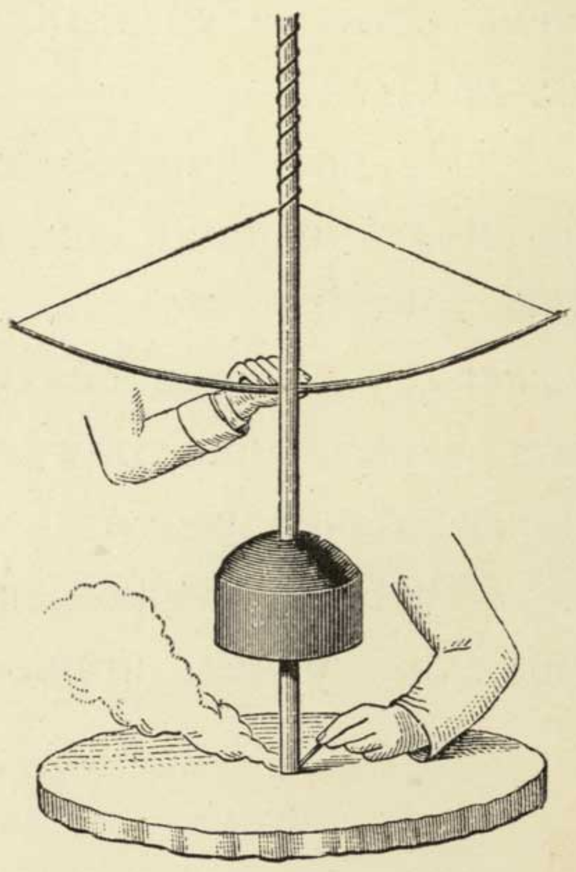
2. Искусство добыванія огня было извѣстно еще въ глубокой древности всѣмъ народамъ; совершенно такъ же огонь съ незапамятныхъ временъ игралъ важную роль въ воззрѣніяхъ человѣка на природу. Въ огнѣ, какъ онъ думалъ, проявляются

Рис. 3



Буравъ для добыванія огня (у эскимосовъ).

Рис. 4



Буравъ для добыванія огня (у индѣйцевъ).

божественныя силы. Огонь солнца и звѣздъ, равно какъ и молніи, имѣетъ божественное происхожденіе. Многочисленныя преданія свидѣтельствуютъ о распространенности этого воззрѣнія. Наиболѣе извѣстно сказаніе о Прометеѣ, который похитилъ огонь у боговъ, передалъ его людямъ и научилъ ихъ обращаться съ нимъ. Другія преданія сообщаютъ, что огонь былъ украденъ у боговъ и спрятанъ въ поломъ кускѣ дерева или въ камнѣ, почему его и можно добыть путемъ тренія одного куска дерева о другой или при ударѣ двухъ камней другъ о друга. Въ этихъ преданіяхъ огонь является составной частью различныхъ тѣлъ, т. е. чѣмъ-то матеріальнымъ.

3. Не подлежитъ никакому сомнѣнію, что наиболѣе древнимъ примѣненіемъ огня было употребленіе его при приготовленіи пищи. Мясо жарили на вертелѣ, а супъ варили въ глиняныхъ и каменныхъ сосудахъ, бросая въ нихъ раскаленные камни. У нѣкоторыхъ народовъ, которымъ было неизвѣстно употребленіе топора и пилы, валили деревья, разводя огонь у основанія ствола.

Многіе народы древности умѣли также съ помощью огня добывать металлы изъ рудъ и выдѣлывать изъ нихъ оружіе, предметы украшенія, посуду для варки и орудія. Этимъ именно путемъ эти народы положили первое основаніе своей культурѣ. Благодаря металлическимъ орудіямъ они стали искусными земледѣльцами,

http://matresis.ru

искусными строителями и искусными техниками. Употребленіе металлической посуды для варки способствовало ознакомленію съ дѣйствіемъ огня на различныя вещества и имѣло вліяніе на развитіе искусства приготовленія пищи и лѣкарствъ, и независимо отъ этого оно дало цѣлый рядъ наблюденій надъ тою силой природы, которую мы называемъ теплотой.

4. По всей вѣроятности выплавленіе металловъ повело къ открытію другого вещества, стекла, которое по своему значенію для культуры и въ особенности для развитія естественныхъ наукъ можетъ быть поставлено наряду съ металлами. Китайцы такъ же, какъ и египтяне, были мастерами въ дѣлѣ приготовленія и искусной обработки стекла. Ѳивы въ теченіе столѣтій были средоточіемъ высоко развитой фабрикаціи стекла. Оттуда это искусство перешло къ финикіянамъ и другимъ народамъ, обитавшимъ на берегахъ Средиземнаго моря. Греки познакомились съ нимъ въ V в. до Р. Х.

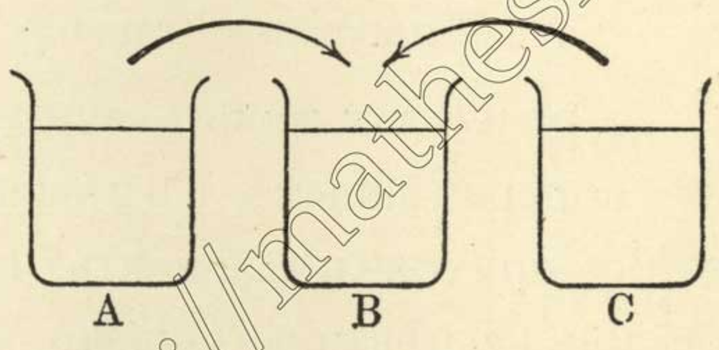
Относительно открытія стекла египтянами мы не располагаемъ никакими достовѣрными свѣдѣніями. Оно относится къ доисторическому времени. Можно лишь съ нѣкоторой увѣренностью принять, что стекло было найдено при выплавливаніи золота. Золото добывалось сплавленіемъ золотоноснаго песка съ содой, которая находилась въ изобиліи въ египетскихъ озерахъ. При достаточно высокой температурѣ сода образовывала съ пескомъ жидкую массу, которую можно было слить съ оставшагося въ плавильномъ горшкѣ золота. Жидкое соединеніе песка съ содой при охлажденіи затвердѣваетъ въ прозрачный камень, представляющій собой родъ стекла.

5. Инструменты и измѣрительные приборы изъ металла и стекла являются въ настоящее время необходимыми средствами при всякой практической и научной работѣ. И въ настоящее время металлы и стекло являются внѣшними носителями культуры, поэтому выплавленіе металловъ и приготовленіе стекла представляютъ важнѣйшій результатъ, который дало обращеніе древнихъ народовъ съ огнемъ. О процессахъ, происходящихъ при добываніи металловъ и обработкѣ стекла, они не имѣли никакого представленія. Работами этими занимались, какъ ремесломъ, и много болѣе простыхъ явленій должно было быть разъяснено раньше, чѣмъ оказалось возможнымъ понять сущность этихъ процессовъ.

6. Однако, сначала мы сосредоточимъ наше вниманіе не на тѣхъ проявленіяхъ огня, которыя вызываютъ преобразованіе и разрушеніе тѣлъ; мы займемся теплотой, возникающей въ тѣлахъ, когда они находятся вблизи огня или приходятъ съ нимъ въ соприкосновеніе.

Языкъ владѣетъ цѣлымъ рядомъ словъ для обозначенія различныхъ тепловыхъ состояній. Съ этими словами—горячій, теплый, тепловатый, прохладный, холодный—мы связываемъ извѣстныя представленія, которыя получаются отъ впечатлѣній, возникающихъ при прикосновеніи къ неодинаково теплымъ тѣламъ.

Рис. 5



Ощущеніе тепла и тепловое состояніе.

Наши осязательные нервы не даютъ намъ, однако, достовѣрныхъ свѣдѣній о тепловомъ состояніи тѣла. Пусть *A*, *B* и *C* (рис. 5) будутъ три стакана съ теплой, тепловатой и холодной водой. Если опустить палецъ одной руки въ воду перваго стакана, а палецъ другой руки въ воду третьяго стакана, то въ первомъ пальцѣ получается ощущеніе тепла, во второмъ холода. Если

http://mathesis.ru

вынуть затѣмъ пальцы изъ теплой и холодной воды и опустить ихъ въ тепловатую воду, то первый палецъ испытаетъ ощущеніе холода, а второй тепла. Одна и та же вода въ состояніи, слѣдовательно, одновременно вызывать впечатлѣніе какъ тепла, такъ и холода. Ощущеніе, вызываемое извѣстнымъ раздраженіемъ, въ значительной степени обусловливается тѣмъ раздраженіемъ, которое нашъ нервъ испытывалъ непосредственно передъ этимъ.

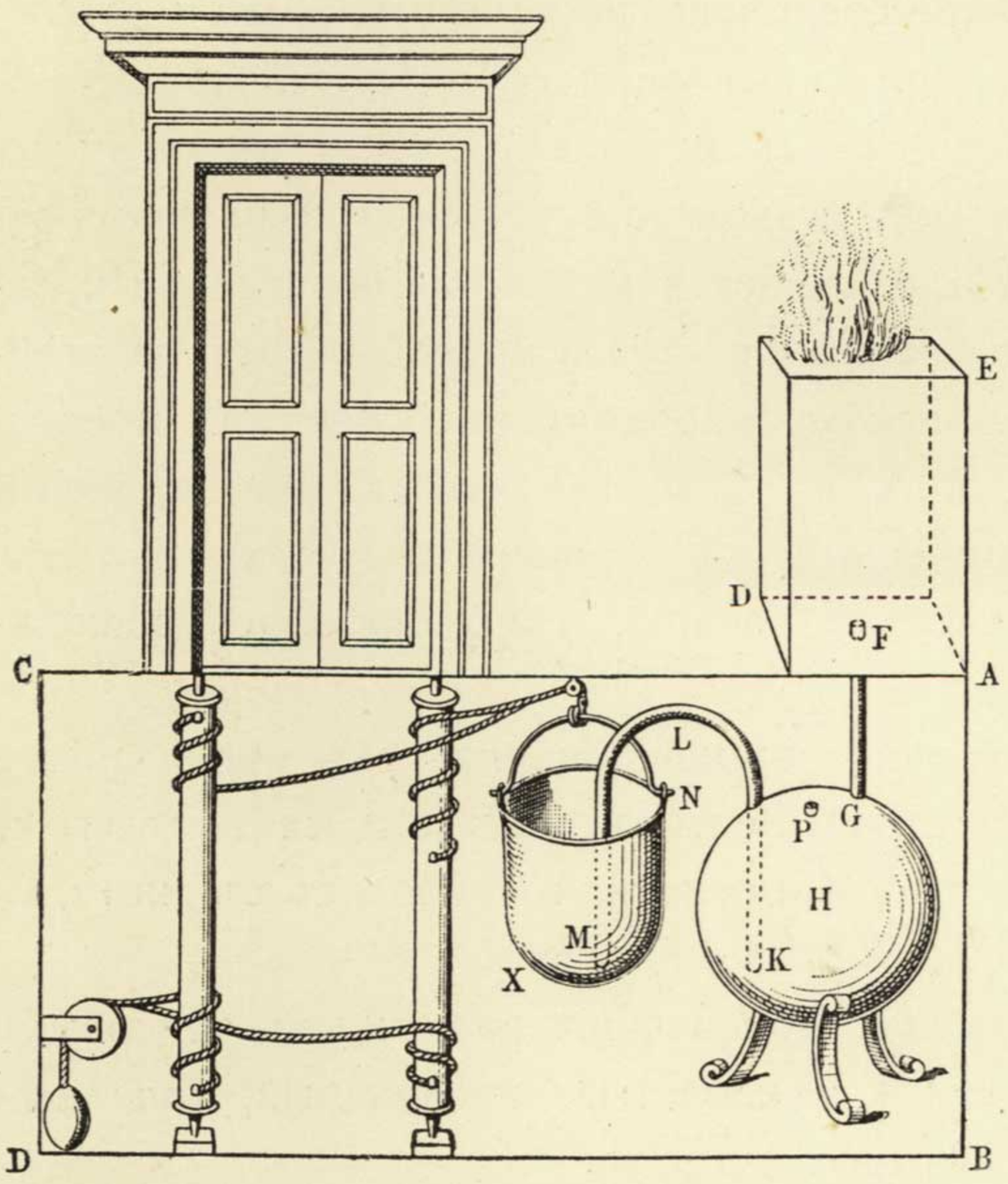
То же относится и къ зрительному нерву. Свѣтъ керосиновой лампы кажется ослѣпительно яркимъ, если придти изъ темной комнаты, и напротивъ блѣднымъ, когда мы приходимъ съ улицы, освѣщенной солнцемъ.

7. Однако, тепловое состояніе тѣла проявляется также на немъ самомъ. Его объемъ измѣняется при нагрѣваніи и охлажденіи. Это особенно замѣтно на воздухѣ, что было уже подмѣчено Герономъ Александрійскимъ (I, § 207).

Въ своей книгѣ о приборахъ, основанныхъ на свойствахъ воды и воздуха, Геронъ описываетъ способъ отпирать и запирать двери (рис. 6), основанный на расширеніи воздуха при нагрѣваніи и на сжатіи его при охлажденіи.

На рисункѣ *AED* изображаетъ алтарь храма въ Александріи. Онъ образуетъ герметически закрытый ящикъ, верхняя крышка котораго сдѣлана изъ металла. Отъ дна ящика идетъ трубка *FG* въ резервуаръ *H*, сообщающійся при помощи *U*-образной трубки *KLM* съ ведромъ *X*. Это ведро виситъ на веревкѣ, которая перебрасывается черезъ блокъ и направляется къ двумъ осямъ; на каждой изъ этихъ осей поворачивается одна половина двери храма. Резервуаръ *H* до половины наполненъ водой. Когда на алтарѣ зажигается огонь, воздухъ въ пустомъ пространствѣ алтаря нагрѣвается и, расширяясь вслѣдствіе этого, гонитъ часть воды черезъ трубку *L* въ ведро *X*. Оно становится настолько тяжелымъ, что пріобрѣтаетъ способность не только повернуть половинку двери, но и поднять грузъ, который стремится ее закрыть. Если потушить огонь, воздухъ охлаждается и сжимается, вода изъ ведра вливается обратно въ резервуаръ *H* и дверь дѣйствіемъ противовѣса закрывается.

Рис. 6



Приспособленіе для открыванія и запиранія двери по Герону.

Геронъ построилъ еще нѣсколько другихъ приборовъ, приводимыхъ въ движеніе попеременнымъ нагрѣваніемъ и охлажденіемъ изолированнаго объема воздуха. Поэтому приходится принять, что Геронъ былъ знакомъ съ явленіемъ расширенія воздуха при нагрѣваніи. Однако, очень сомнительно, чтобы ему было также извѣстно расширеніе жидкихъ и твердыхъ тѣлъ отъ теплоты, такъ какъ послѣднее значительно меньше расширенія воздуха. Изъ его сочиненій не видно также, чтобы онъ сознавалъ, что въ этомъ приспособленіи для открыванія дверей онъ владѣетъ приборомъ

http://mathesis.ru

указывающимъ тепловое состояніе или, какъ говорятъ въ настоящее время, степень теплоты или температуру воздуха. Лишь спустя 1700 лѣтъ сочиненіе Герона повело къ изобрѣтенію термометра.

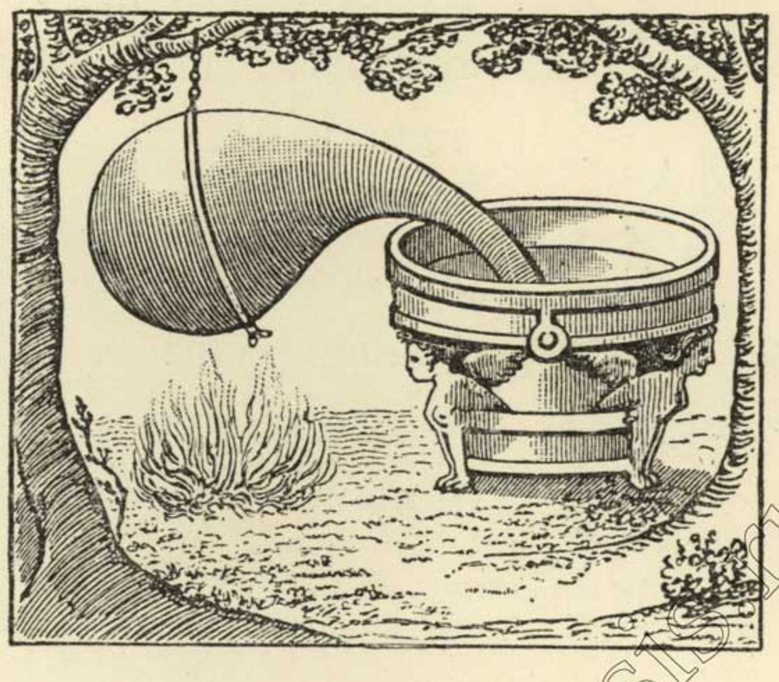
8. За этотъ долгій промежутокъ времени ученіе о расширеніи тѣлъ подъ вліяніемъ теплоты не сдѣлало никакихъ успѣховъ, о которыхъ стоило бы упоминать. Въ качествѣ движущей силы для своихъ многочисленныхъ механическихъ приборовъ Геронъ пользовался, кромѣ нагрѣтаго воздуха, также паромъ. Онъ построилъ, если угодно, первую паровую машину, о которой ниже будетъ разсказано подробнѣе.

Въ одномъ сочиненіи по механикѣ, написанномъ арабомъ Аль Хацини (1137 г.), находится указаніе, позволяющее, быть можетъ, заключить, что автору было извѣстно расширеніе воды при нагрѣваніи. Сочиненіе это носитъ названіе „Вѣсы мудрости“ и трактуетъ объ очень чувствительныхъ вѣсахъ, при помощи которыхъ авторъ производилъ весьма точныя опредѣленія удѣльныхъ вѣсовъ. Одну главу онъ посвящаетъ водѣ и обращаетъ вниманіе не только на то, что удѣльный вѣсъ воды зависитъ отъ содержанія въ ней соли, но приводитъ, какъ результатъ своихъ взвѣшиваній, и тотъ фактъ, что вода зимой на холодѣ тяжелѣе, чѣмъ лѣтомъ въ теплѣ. Отсюда нѣкоторые были склонны сдѣлать заключеніе, что арабы пользовались водянымъ уровнемъ, какъ термометромъ. Но ничего достовѣрнаго объ этомъ неизвѣстно, и наблюденіе Аль Хацини во всякомъ случаѣ не имѣло никакого значенія для послѣдующаго времени.

9 Около 1600 г., когда книгу Герона о приборахъ, основанныхъ на свойствахъ воды и воздуха, читали весьма много, его наблюденіе надъ расширеніемъ воздуха отъ теплоты вызвало большой интересъ.

Делла Порта (I, § 102) издалъ сочиненіе, въ которомъ онъ не только показываетъ, что воздухъ отъ теплоты расширяется, но и объясняетъ, какъ можетъ быть измѣрена величина этого расширенія. Его способъ почти совпадаетъ съ тѣмъ, который Корнелій Дреббель (1572—1634) описываетъ въ сочиненіи, вышедшемъ въ 1604 г.

Рис. 7



Приборъ Дреббеля.

Дреббель пользовался при своихъ опытахъ грушевиднымъ металлическимъ сосудомъ съ изогнутымъ горломъ, узкій конецъ котораго погружался въ воду (рис. 7). Сосудъ нагрѣвался, такъ что часть заключавшагося въ немъ воздуха выходила въ видѣ пузырьковъ черезъ воду наружу. Когда затѣмъ сосудъ охлаждался, оставшійся воздухъ сжимался, и вода въ горлѣ подымалась. Чѣмъ сильнѣе нагрѣвался сосудъ, тѣмъ больше воздуха выгонялось изъ него и тѣмъ больше воды входило въ сосудъ въ то время, когда онъ охлаждался. Такимъ способомъ Порта могъ измѣрить, насколько воздухъ расширился.

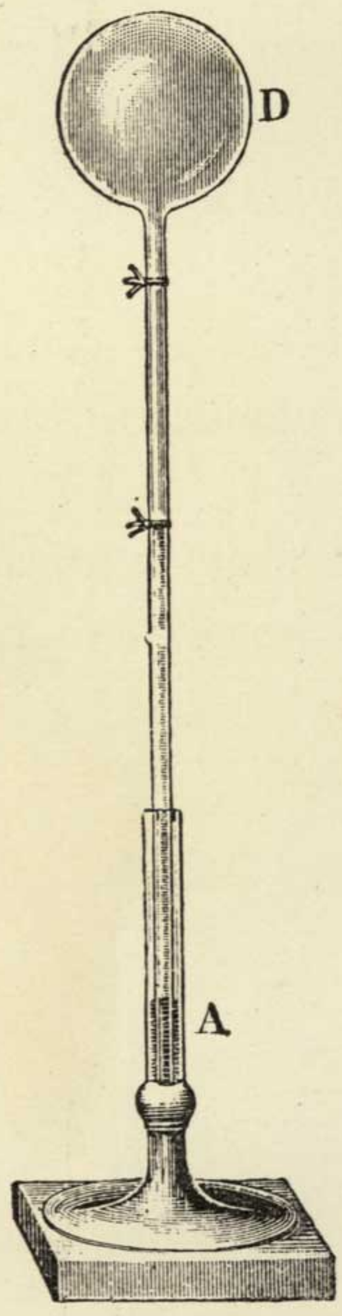
Эти опыты доказываютъ собственно только то, что Порта и Дреббель читали сочиненіе Герона. Дреббелю неправильно приписывали заслугу, будто онъ первый пришелъ къ мысли, что степень нагрѣтости воздуха можетъ быть измѣрена

http://mathesis.ru

его расширеніемъ. Честь эта безспорно принадлежитъ Галилею (I, § 138), даже если допустить возможность того, что Дреббель приблизительно въ одно время съ Галилеемъ самостоятельно пришелъ къ той же мысли.

10. Когда въ 1592 г. Галилей сдѣлался профессоромъ въ Падуѣ, онъ занялся, какъ это видно изъ его писемъ, изученіемъ сочиненія Герона и весьма вѣроятно, что это изученіе навело его на открытіе термометра. Его ученикъ и біографъ Вивіани разсказываетъ, что въ концѣ 1592 г. Галилей изобрѣлъ термометръ, т. е. стаканъ съ воздухомъ и водой, который долженъ былъ служить для наблюденія неодинаковыхъ мѣняющихся тепловыхъ состояній тѣлъ. Хотя самъ Галилей въ своихъ сочиненіяхъ не упоминаетъ объ этомъ важномъ открытіи, все же мы знаемъ, что во время своего пребыванія въ Падуѣ онъ пользовался термометромъ. Патеръ Кастелли (I, § 232) упоминаетъ въ одномъ письмѣ, что онъ видѣлъ въ 1603 г., какъ Галилей дѣлалъ слѣдующій опытъ. Онъ бралъ стеклянный шаръ величиной въ куриное яйцо, съ припаянной къ нему стеклянной трубкой, длиной въ одинъ локоть и толщиной съ соломинку. Онъ бралъ въ руки этотъ стеклянный шаръ, который вслѣдствіе этого нагрѣвался, затѣмъ опускалъ трубку концомъ въ сосудъ, содержащій немного воды (рис. 8). Въ то время какъ шаръ охлаждался, заключенный въ немъ воздухъ сжимался и вода поднималась въ трубкѣ на четверть локтя надъ уровнемъ воды въ сосудѣ. Патеръ Кастелли прибавляетъ, что Галилей воспользовался этимъ явленіемъ для устройства прибора, который показываетъ тепло и холодъ.

Рис. 8



Воздушный термометръ Галилея.

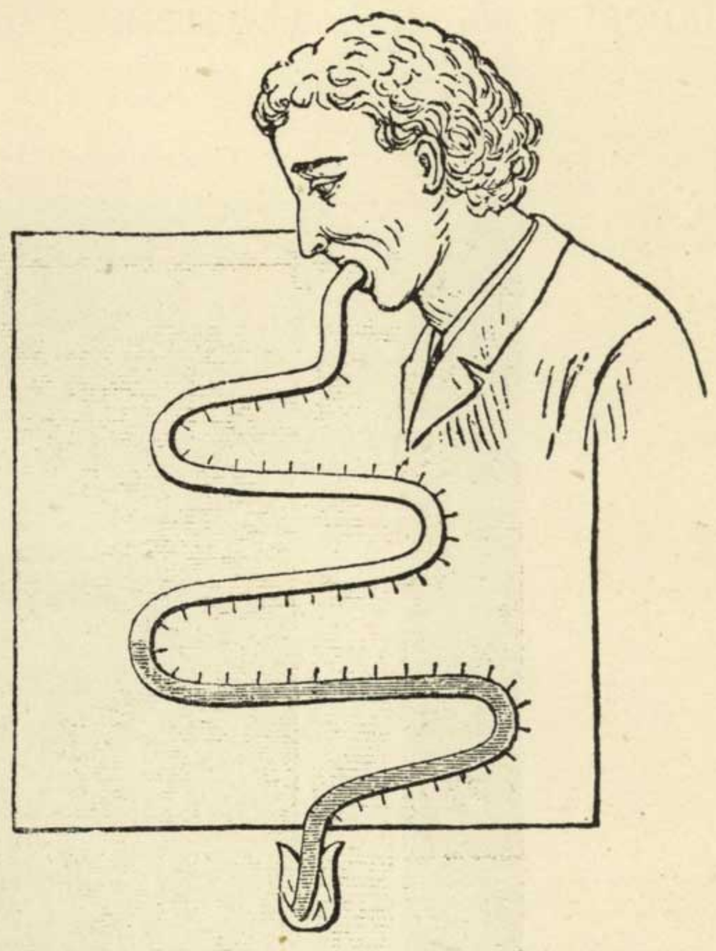
11. Термометръ Галилея имѣетъ тотъ крупный недостатокъ, что онъ указываетъ не только измѣненіе температуры, но и измѣненіе давленія воздуха. При увеличеніи давленія воздуха вода въ трубкѣ подымается, а при уменьшеніи — падаетъ. Несмотря на этотъ недостатокъ приборъ получилъ широкое распространеніе, чему содѣйствовалъ врачъ Санкторіусъ, бывшій профессоромъ въ Падуѣ отъ 1611 до 1624 г.; на лекціи его стекались многочисленные слушатели изо всѣхъ странъ. Санкторіусъ ввелъ термометръ и нѣкоторые другіе физическіе измѣрительные приборы, какъ маятникъ и вѣсы, въ медицину. Термометромъ онъ пользовался для измѣренія температуры больныхъ лихорадкой. Больной бралъ шарикъ термометра въ руки или же въ ротъ, если термометръ былъ для этого приспособленъ (рис. 9).

Санкторіусъ воспользовался термометромъ Галилея, чтобы изслѣдовать, грѣетъ ли лунный свѣтъ или нѣтъ. При помощи большого вогнутаго зеркала онъ отбрасывалъ лучи луны во время полнолунія на шарикъ термометра и нашелъ, что жидкость въ трубкѣ термометра понизилась на 2 дѣленія въ теченіе 10 ударовъ пульса; между тѣмъ какъ солнечные лучи, сконцентрированные такимъ же образомъ на шарикѣ, понижали въ теченіе 2 ударовъ пульса водяной столбикъ въ трубкѣ на 110 дѣленій. Этотъ результатъ, однако, не надеженъ, такъ какъ для опредѣленія теплоты, которую даетъ луна, на самомъ дѣлѣ нужны значительно болѣе чувствительные приборы. Все же интересно, что Санкторіусъ умѣлъ пользоваться термометромъ для различныхъ цѣлей.

http://mathesis.ru

Галилей былъ такъ поглощенъ своими астрономическими наблюденіями, что не находилъ времени для занятій термометромъ; все же онъ узналъ, что въ высшей степени трудно приготовить два термометра, показанія которыхъ совпадали бы. Это возможно только въ томъ случаѣ, если оба они совершенно одинаковой формы и величины, приготовлены изъ одного и того же сорта стекла и содержатъ одинъ и тотъ же объемъ воздуха. Кромѣ того, должно быть извѣстно давленіе воздуха, которое необходимо принимать во вниманіе.

Рис. 9



Термометръ для больныхъ Санкторіуса.

12. Воздушный термометръ скоро вошелъ въ Европѣ во всеобщее употребленіе. Отто фонъ-Герике придалъ ему форму, изображенную на рис. 10. Здѣсь *A* представляетъ полый мѣдный шаръ, съ которымъ соединена *U*-образная мѣдная трубка *BC* длиной въ семь локтей. Воздухъ въ шарѣ запертъ спиртомъ, налитымъ въ трубку, такъ что приборъ представляетъ собой воздушный термометръ. При нагрѣваніи шара воздухъ расширяется и давитъ на жидкость во внѣшней трубкѣ, которая вслѣдствіе этого подымается. Если же, наоборотъ, шаръ охлаждается, то объемъ воздуха уменьшается и жидкость во внутренней трубкѣ подымается. Чтобы сдѣлать видимыми движенія жидкости, Герике вводилъ во внѣшнюю трубку поплавокъ, укрѣпленный на концѣ шнурка. Шнурокъ этотъ перекидывался черезъ блокъ, а на другомъ концѣ его находилась фигура ангела, который простертой рукой указывалъ на шкалу съ надписями. Шкала помѣщалась на деревянной коробкѣ, въ которую была заключена трубка. Весь приборъ помѣщался на стѣнѣ, обращенной къ сѣверу, чтобы предохранить его отъ непосредственнаго дѣйствія солнечныхъ лучей. Такимъ образомъ можно было отсчитывать указываемыя ангеломъ показанія температуры въ каждый данный моментъ. Конечно шкала должна была соотвѣтствовать движеніямъ поплавка. Показанія отдѣльныхъ дѣленій шкалы были немного неопредѣленны. Герике сообщаетъ, какъ норму, что въ туманную холодную ночь ангелъ долженъ находиться приблизительно на серединѣ шкалы. Чтобы получить такую установку, къ шару былъ придѣланъ кранъ *H*, черезъ который можно было впускать и выпускать изъ шара воздухъ до тѣхъ поръ, пока ангелъ не указывалъ правильное дѣленіе. „Впрочемъ, говоритъ Герике, опытъ научитъ дѣлать это (установку) все лучше и лучше“.

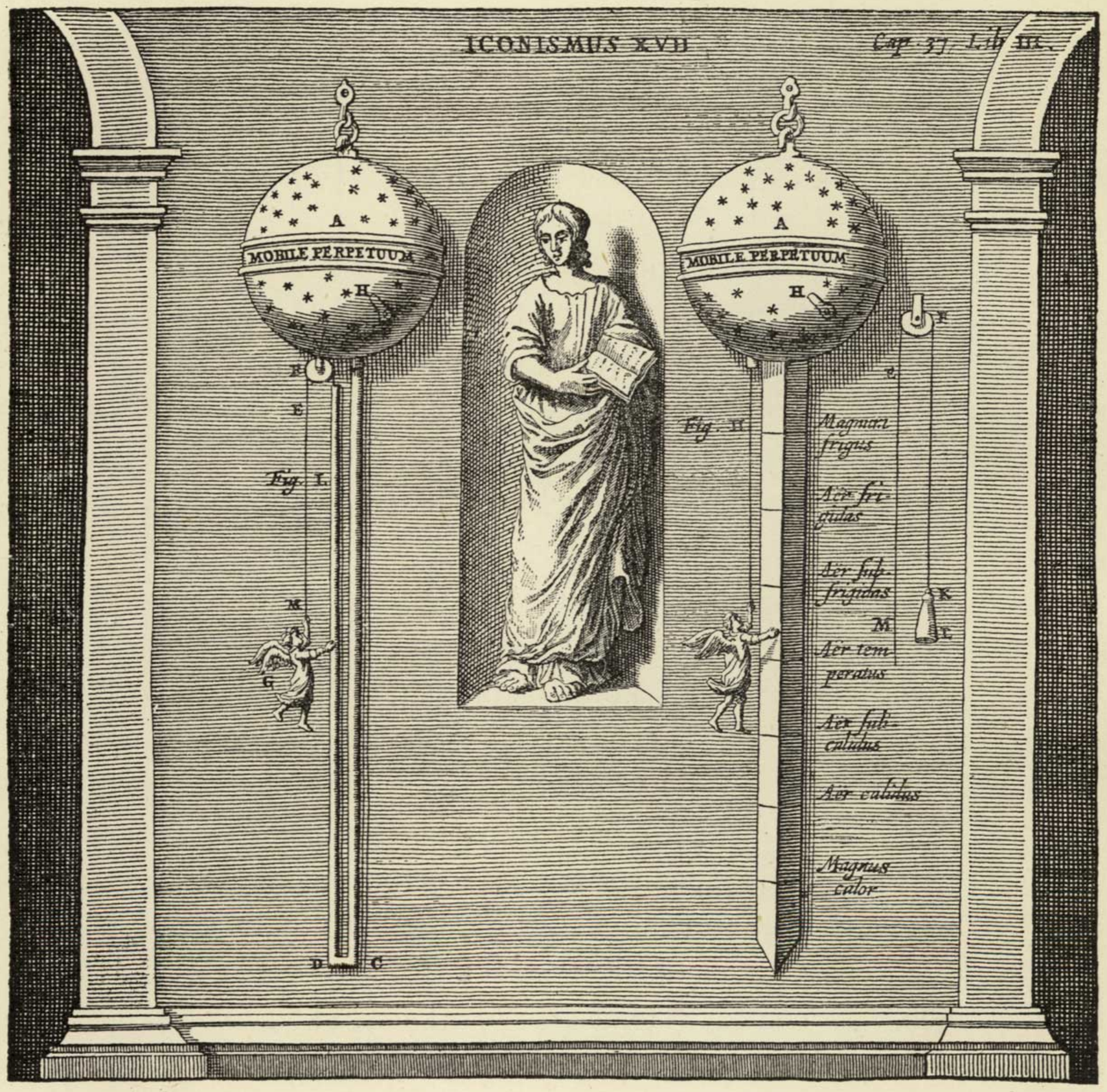
Приборъ обратилъ на себя большое вниманіе. Съ большимъ интересомъ замѣчали, что ангелъ постоянно находится въ движеніи. Герике выкрасилъ шаръ въ голубой цвѣтъ, украсилъ его золотыми звѣздами и снабдилъ надписью „Mobile Perpetuum“.

13. Значительное улучшеніе въ термометрѣ Галилея сдѣлалъ другъ Герике, іезуитъ Каспаръ Шоттъ (1608—1666). Обычная форма термометра того времени указана на рис. 11. Большой шаръ *A* содержитъ воздухъ, запертый при помощи жидкости. Болѣе длинное колѣно изогнутой трубки открыто на верхнемъ концѣ. Когда шаръ нагрѣвается, жидкость въ открытомъ колѣнѣ подымается, при охлажденіи же его она падаетъ.

http://mathesis.ru

Шоттъ измѣнилъ устройство этого термометра такимъ образомъ, что его показанія не зависѣли отъ давленія внѣшняго воздуха. Онъ достигъ этого тѣмъ, что заперъ и второе колѣно трубки. Въ такой формѣ (рис. 12) приборъ этотъ получилъ впослѣдствіи названіе дифференціальнаго термометра, такъ какъ онъ хорошо приспособленъ для измѣренія разницы температуръ. Если, напримѣръ, нагрѣть верхній шаръ, подвергнувъ его дѣйствію солнечныхъ лучей, между тѣмъ какъ нижній сохраняетъ

Рис. 10



„Perpetuum Mobile“ Герике.

температуру окружающаго воздуха, то жидкость въ длинной трубкѣ понизится; такимъ образомъ мы получаемъ мѣру нагрѣванія тѣлъ, независящую отъ давленія воздуха.

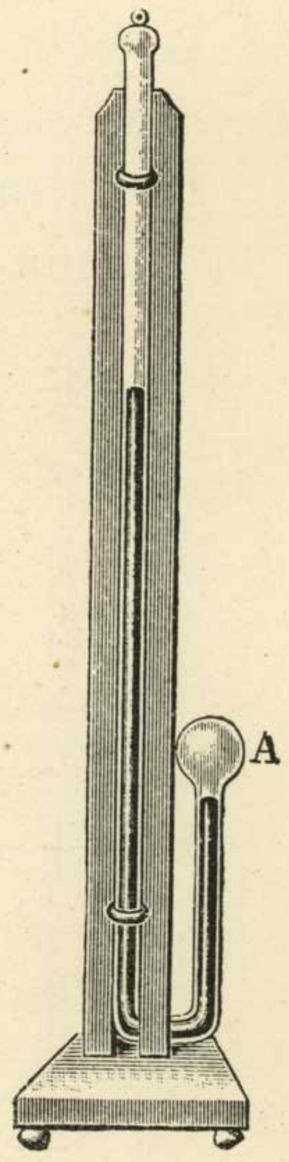
Но и въ томъ случаѣ, когда оба шара нагрѣваются или охлаждаются одинаково, дифференціальный термометръ Шотта все же даетъ погрѣшности. Воздухъ въ нижнемъ шарѣ вслѣдствіе давленія столба жидкости плотнѣе, чѣмъ воздухъ въ верхнемъ шарѣ и расширяется вслѣдствіе этого съ бо́льшей силой. Разумѣется, передвиженіе жидкости здѣсь не такъ велико, какъ въ открытомъ термометрѣ.

Помимо Шотта и независимо отъ него нѣкоторые другіе изслѣдователи XVII столѣтія пришли къ тому же усовершенствованію воздушнаго термометра Галилея. Впослѣдствіи при изслѣдованіи лучистой теплоты дифференціальный термометръ сыгралъ важную роль.

http://mathesis.ru

14. Неизвѣстно, кто первый поднялъ вопросъ, расширяются ли при нагрѣваніи также жидкости и твердыя тѣла. Галилей, правда, говоритъ, что по словамъ философовъ доказано, что теплота вызываетъ расширеніе, а холодъ сжиманіе; но онъ ничего не сообщаетъ о томъ, насколько это распространяется на другія тѣла, кромѣ воздуха. Расширеніе воды наблюдать гораздо труднѣе, чѣмъ расширеніе воздуха, такъ какъ послѣднее въ 8 разъ больше перваго.

Рис. 11

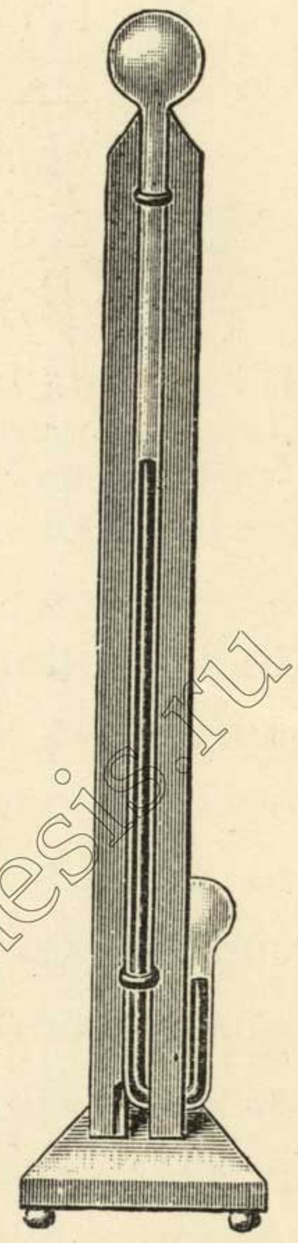


Открытый воздушный термометръ.

Повидимому, французскій врачъ Жанъ Рей (ум. въ 1645 г.) первый воспользовался расширеніемъ воды для измѣренія температуры. Онъ написалъ въ 1631 г. письмо извѣстному патеру Мерсенну (I, § 171), въ которомъ сообщаетъ, что пользуется термометромъ, который отличается отъ обыкновенныхъ термометровъ, находящихся во всеобщемъ употребленіи. Онъ состоитъ изъ маленькаго круглаго стекляннаго сосуда съ длиннымъ, очень узкимъ горлышкомъ. Сосудъ до горлышка наполненъ водой. Если требуется измѣрить температуру лихорадочнаго больного, то ему даютъ этотъ сосудъ въ руки. Теплота расширяетъ воду, которая поднимается въ узкомъ горлышкѣ вверхъ. Чѣмъ теплѣе рука, тѣмъ выше подымается вода.

15. Мы не знаемъ, стало ли это ясное описаніе Рея извѣстнымъ въ болѣе широкихъ кругахъ. Но 10 лѣтъ спустя мы находимъ во Флоренціи подобные и лучшіе термометры, которые по сообщенію Вивіани были изобрѣтены великимъ герцогомъ Тосканскимъ Фердинандомъ II (1610—1670).

Рис. 12



Закрытый воздушный термометръ Шотта.

Государь этотъ, подобно своему брату Леопольду Медичи, ревностно занимался естественными науками и собралъ вокругъ себя кружокъ замѣчательныхъ ученыхъ. Фердинандъ былъ ученикомъ Галилея и, быть можетъ, узналъ отъ самого Галилея о воздушномъ термометрѣ, который онъ затѣмъ въ 1641 г. передѣлалъ въ термометръ, наполненный жидкостью. Его термометръ состоялъ изъ стекляннаго сосуда величиной въ ружейную пулю, къ которой припаяна была узкая трубка (рис. 13). Шарикъ наполнялся окрашеннымъ или неокрашеннымъ спиртомъ, а трубка герметически закрывалась и снабжалась шкалой. Приборъ этотъ имѣетъ большое сходство съ термометромъ Рея, но обладаетъ нѣкоторыми существенными преимуществами передъ нимъ. Во-первыхъ, онъ закрытъ, вслѣдствіе чего объемъ заключающейся въ немъ жидкости всегда одинъ и тотъ же. Затѣмъ, спиртъ имѣетъ то преимущество передъ водой, что онъ сильнѣе расширяется и переноситъ очень низкія температуры, не замерзая. Съ другой стороны, этотъ термометръ имѣлъ тотъ же недостатокъ, какъ и воздушный термометръ. Его шкала была произвольна и показанія различныхъ приборовъ были поэтому несравнимы между собой, если только послѣдніе не были устроены одинаково до мельчайшихъ подробностей.

Великій герцогъ Фердинандъ пользовался своимъ термомет-

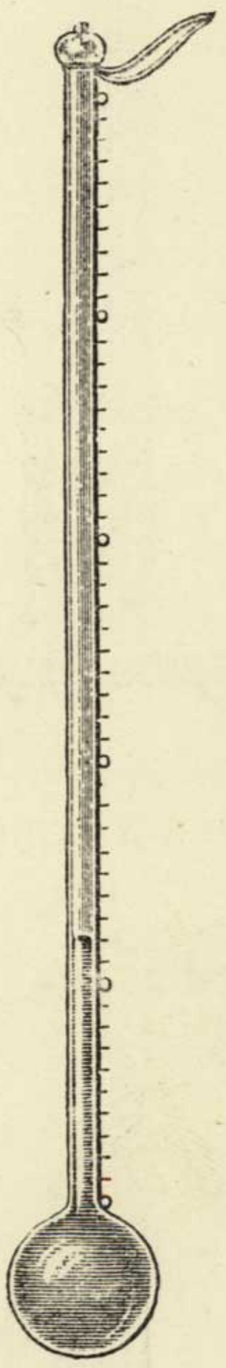
http://mathesis.ru

ромъ при опытахъ искусственнаго высиживанія куриныхъ яицъ, которое онъ хотѣлъ развить въ большихъ размѣрахъ, что ему однако не удалось. Изъ 144 яицъ онъ получилъ лишь трехъ жизнеспособныхъ цыплятъ. Съ большимъ успѣхомъ онъ примѣнялъ свой термометръ къ метереологическимъ наблюденіямъ, а также къ наблюденіямъ температуры глубокихъ колодцевъ и подваловъ въ различныя времена года.

Термометрическія наблюденія надъ дѣйствіемъ теплоты получили большое развитіе благодаря дѣятельности знаменитой Accademia del Cimento.

16. Accademia del Cimento (Академія опыта) учреждена была 19 іюня 1657 г. во Флоренціи учениками Галилея и Торричелли подъ предсѣдательствомъ князя Леопольда. Еще въ 1648 г. великій герцогъ Фердинандъ учредилъ общество для занятій физическими опытами. Первые члены Академіи принадлежали къ этому обществу и были извѣстными и ревностными изслѣдователями. Девизомъ общества было „Provando e Riprovando“ (опытъ и снова опытъ); оно должно было служить живымъ памятникомъ Галилею, который ввелъ опытъ въ изслѣдованіе природы и этимъ оказалъ естествознанію такую услугу, какъ никто другой.

Рис. 13



Термометръ съ жидкостью великаго герцога Фердинанда.

Академія была предназначена для самостоятельныхъ изслѣдованій, а не для того, чтобы тратить время на безполезныя и замысловатыя толкованія Аристотеля и другихъ древнихъ авторовъ. Надлежало вопрошать самое природу, которая всегда даетъ правильный отвѣтъ.

Число членовъ было всего девять, но всѣ они были выдающимися учеными. Они работали сообща и тѣ ихъ изслѣдованія, которыя публиковались, не носили имени отдѣльныхъ членовъ, а являлись общимъ трудомъ Академіи.

Дневникъ Академіи, изъ котораго можно видѣть, какое участіе отдѣльные члены принимали въ ея работахъ, еще до настоящаго времени хранится во Флоренціи. Тѣмъ не менѣе и въ настоящее время принято называть не имена отдѣльныхъ членовъ, а всю Академію, когда рѣчь идетъ объ ея работахъ.

Однако, этой замѣчательной Академіи суждено было просуществовать лишь очень недолго. Князя Леопольда, который былъ внѣшней опорой Академіи, въ 1667 г. папа назначилъ кардиналомъ, но подъ условіемъ роспуска Академіи. Но это едвали было единственной причиной ея упраздненія. Внутренніе раздоры между членами также содѣйствовали этому. Король французскій Людовикъ XIV особенно отличилъ Вивіани и богато одарилъ его. Это вызвало зависть остальныхъ членовъ и повело къ жестокой распрѣ между Борелли и Вивіани, въ которой приняли также участіе великій герцогъ и князь Леопольдъ. Чувство единства и согласія исчезло, а съ нимъ и жизненная сила Академіи, такъ что условіе, при которомъ папа предоставилъ князю Леопольду кардинальское кресло, послужило лишь внѣшнимъ поводомъ къ тому, что Академія дѣйствительно была распущена. Отчетъ о работахъ Академіи появился въ 1667 г. незадолго до ея закрытія подъ заглавіемъ „Saggi di naturali sperienze fatte nell' Acca-

http://mathesis.ru

demia del Cimento“ [1]). Второе изданіе Saggi было выпущено въ 1841 г. на средства великаго герцога тосканскаго Леопольда II. Издатель Антинори мѣтко замѣчаетъ, что Академія, какъ несчастная мать, умерла послѣ рожденія перваго ребенка.

17. Однако, за время своего 10-лѣтняго существованія Академія успѣла дать цѣлый рядъ работъ, получившихъ основное значеніе въ дѣлѣ экспериментальнаго изученія природы и представляющихъ по своему выполненію образцы научнаго изслѣдованія. И хотя члены Академіи не сумѣли устранить изъ своей среды зависть и раздоры, они все же занимаютъ въ исторіи науки почетное мѣсто.

Старшимъ изъ нихъ, но вмѣстѣ съ тѣмъ наименѣе замѣчательнымъ былъ Алессандро Марсили (род. въ 1601 г.). Онъ, по всей вѣроятности, немногимъ содѣйствовалъ общей работѣ. Онъ умеръ въ 1670 г.

Немногимъ моложе его былъ высокоодаренный, но страстный Джованни Альфонсо Борелли (род. въ 1608 г.). Онъ написалъ большое число трактатовъ по математикѣ, астрономіи, физикѣ и физіологіи. Борелли ясно высказывалъ мысль, что движеніе небесныхъ тѣлъ обусловливается ихъ взаимнымъ притяженіемъ. Онъ примѣнилъ законъ рычага къ объясненію передвиженія людей и животныхъ. И въ другихъ областяхъ Борелли далъ цѣнныя работы. Онъ установилъ, что кометы движутся вокругъ солнца по параболическимъ орбитамъ. Онъ подробно изучалъ также явленія капиллярности. Борелли отказался, однако, опубликовать результаты своихъ изслѣдованій въ работахъ Академіи, такъ какъ хотѣлъ издать ихъ подъ своимъ собственнымъ именемъ. Они появились лишь въ 1670 г., когда Академія уже больше не существовала. Въ 1668 г. Борелли уѣхалъ въ Мессину, гдѣ онъ раньше былъ профессоромъ математики. Здѣсь въ 1674 г. онъ принялъ участіе въ возстаніи и долженъ былъ поэтому бѣжать. Онъ отправился въ Римъ и жилъ здѣсь въ большой нуждѣ. Шведская королева Христина, жившая въ Римѣ, приняла въ немъ участіе и напечатала на свои средства его сочиненіе о движеніи животныхъ. Борелли умеръ въ 1679 г.

Карло Ренальдини (1615—1698 г.) былъ до того, какъ онъ сдѣлался членомъ Академіи, инженеромъ на службѣ у папы. Онъ былъ превосходнымъ изслѣдователемъ и особенно много сдѣлалъ въ области наблюденія тепловыхъ явленій. Послѣ упраздненія Академіи онъ былъ учителемъ математики въ Падуѣ.

Кандидо дель Буоно и его братъ Паоло Буоно происходили изъ знаменитой древней флорентинской семьи. Оба они, такъ же, какъ и третій братъ Антоніо Марія, не состоявшій членомъ Академіи, были учениками Галилея. Кандидо (1618 — 1676) изобрѣлъ цѣлый рядъ измѣрительныхъ приборовъ, между прочимъ водяные часы, которые шли очень точно, и приборъ для опредѣленія давленія сжатаго воздуха. Паоло (1625—1662) былъ собственно лишь членомъ корреспондентомъ. Уже въ 1665 г. онъ отправился въ Австрію, гдѣ сдѣлался королевскимъ математикомъ и директоромъ монетнаго двора въ Вѣнѣ. Отсюда онъ регулярно посылалъ письма князю Леопольду, въ которыхъ сообщалъ ему новости изъ области физики.

Винченціо Вивіани, сынъ флорентинскаго патриція, былъ, быть можетъ, наиболѣе выдающимся изъ девяти академиковъ. Онъ былъ даровитымъ математикомъ и еще мальчикомъ, до того какъ сдѣлался ученикомъ Галилея, изучалъ Евклида.

---

[1]) Разсказы о естественныхъ опытахъ, произведенныхъ Академіей del Cimento.

http://mathesis.ru

Когда Галилей умеръ въ 1642 г., Вивіани было 20 лѣтъ. Онъ принималъ участіе въ изслѣдованіяхъ Торричелли, приведшихъ къ изобрѣтенію барометра, и сдѣлался преемникомъ Торричелли въ качествѣ математика великаго герцога. Совмѣстно съ Д. Кассини (I, § 282) онъ руководилъ крупными инженерными работами, а именно водяными сооруженіями. Потомству онъ оказалъ большую услугу своей біографіей Галилея. Онъ былъ избранъ членомъ Королевскаго Общества (въ Лондонѣ) и французской Академіи. Пенсію, назначенную ему Людовикомъ XIV, онъ употребилъ большей частью на то, чтобы превратить домъ Галилея въ памятникъ великому учителю; на домѣ онъ помѣстилъ его бюстъ, а стѣны украсилъ барельефами, въ которыхъ прославлялись открытія Галилея. Вивіани умеръ въ 1703 г. въ возрастѣ 81 г. и былъ погребенъ рядомъ съ Галилеемъ въ церкви Santa Croce.

Антоніо Олива также былъ однимъ изъ выдающихся членовъ Академіи благодаря своему тонкому уму. Послѣ ея упраздненія онъ отправился въ Римъ. Здѣсь у него вышелъ конфликтъ съ инквизиціей и, чтобы избѣжать пытки, онъ покончилъ самоубійствомъ, выбросившись изъ окна тюрьмы.

Франческо Реди (1626—1694) былъ философомъ и знаменитымъ врачомъ. Онъ умеръ лейбъ-медикомъ Козьмы III, сына Фердинанда II.

Младшій изъ девяти академиковъ, Лоренцо Магалотти родился въ 1637 г. въ Римѣ, 19 лѣтъ переѣхалъ въ Пизу, гдѣ занимался подъ руководствомъ Вивіани. Въ 1660 г. онъ сдѣлался секретаремъ Академіи, постъ, къ которому онъ былъ особенно пригоденъ, такъ какъ не только мастерски владѣлъ своимъ роднымъ языкомъ, но говорилъ по французски, англійски и испански и понималъ также арабскій и турецкій языки. Ему было также поручено составленіе записокъ Академіи, знаменитыхъ Saggi, въ которыхъ онъ дѣлалъ сообщенія о работахъ Академіи.

Рис. 14

Лоренцо Магалотти.

18. Кромѣ дѣйствительныхъ членовъ у Академіи было еще нѣсколько членовъ корреспондентовъ какъ въ Италіи, такъ и заграницей. Изъ нихъ должны быть отмѣчены Д. Кассини и Нильсъ Стенсенъ или, какъ его звали по-латыни, Nikolaus Steno. Стенсенъ родился въ 1638 г. въ Копенгагенѣ. Съ 1656 г. онъ изучалъ въ университетѣ своего родного города медицину. Однимъ изъ его учителей былъ анатомъ Ѳома Бартолинъ, старшій братъ Эразма Бартолина (I, § 395). Въ 1660 г. онъ отправился въ Голландію, которая въ то время находилась въ оживленныхъ сношеніяхъ съ сѣверными государствами. Въ томъ же году онъ при своихъ вскрытіяхъ сдѣлалъ нѣсколько анатомическихъ и физіологическихъ открытій. Въ 1661 г. появилось его первое сочиненіе о ротовыхъ железахъ, въ которомъ онъ проявилъ себя

http://mabook.thesis.ru

превосходнымъ изслѣдователемъ. Въ слѣдующемъ году онъ началъ свои, составившія эпоху, изслѣдованія сердца, которыя привели его къ тому результату, что сердце есть лишь мускулъ, въ существенныхъ чертахъ дѣйствующій подобно остальнымъ мускуламъ. Когда онъ въ 1664 г. находился по семейнымъ дѣламъ въ Копенгагенѣ, предполагалось поручить ему каѳедру въ мѣстномъ университетѣ, но клика профессоровъ изъ сторонниковъ Бартолина помѣшала этому. Стенсенъ снова отправился заграницу, именно—черезъ Амстердамъ въ Парижъ, пробылъ годъ въ Парижѣ, откуда

Рис. 15



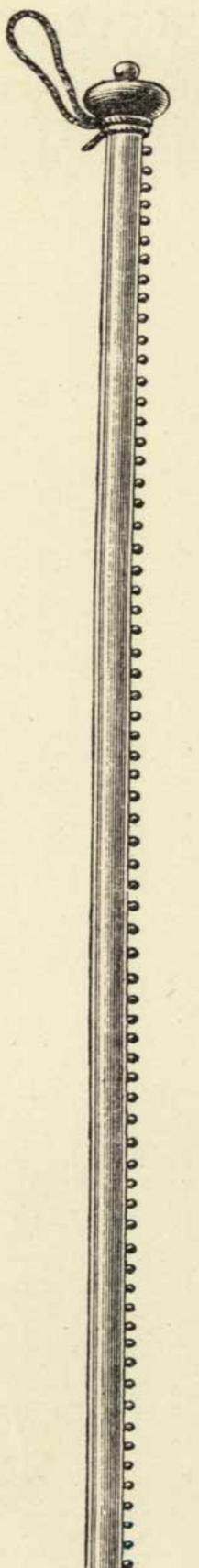
Стенсенъ.

направился въ Флоренцію, гдѣ Борелли, къ которому онъ имѣлъ рекомендаціи, ввелъ его въ кругъ ученыхъ Accademia del Cimento. Стенсенъ завязалъ оживленныя сношенія съ Вивіани, Реди и Магалотти; дружба съ послѣднимъ имѣла для него большое значеніе. Во многихъ отношеніяхъ они представляли противоположность другъ другу. Стенсенъ былъ сынъ ремесленника, Магалотти происходилъ изъ старой аристо-

http://mathesis.ru

кратической фамиліи; Стенсенъ былъ серьезнымъ человѣкомъ, исполненнымъ сознанія долга,—талантливый Магалотти былъ менѣе щепетиленъ въ своихъ поступкахъ и обладалъ страстнымъ честолюбіемъ. Но несмотря на такое различіе характеровъ, это, безъ сомнѣнія, были близкія натуры; они тѣсно привязались другъ къ другу.

Рис. 16



Флорентійскій стоградусный термометръ.

Стенсенъ получилъ черезъ Вивіани доступъ ко двору и былъ назначенъ врачомъ великаго герцога несмотря на то, что былъ еретикомъ. Онъ жилъ въ одномъ домѣ съ Реди и часто бывалъ у Борелли. Въ 1666 году онъ провелъ нѣкоторое время въ Римѣ и въ томъ же году издалъ свое сочиненіе о мускулахъ, посвященное великому герцогу Фердинанду II.

Въ слѣдующемъ году Стенсену пришлось пережить мучительныя сомнѣнія и тяжелую душевную борьбу. Его религіозныя воззрѣнія поколебались и онъ почувствовалъ влеченіе къ католицизму. 2 ноября 1667 года онъ рѣшился перейти въ католичество. На слѣдующій день онъ получилъ отъ датскаго короля письмо, въ которомъ ему предлагали переселиться въ Копенгагенъ. Это почетное приглашеніе пришло, къ сожалѣнію, слишкомъ поздно, такъ какъ при сложившихся обстоятельствахъ Стенсенъ не могъ немедленно оставить своей должности въ Флоренціи. Послѣдующіе годы были посвящены обработкѣ сочиненія, положившаго начало геологіи. Это сочиненіе носило названіе: „De solido intra solidum naturaliter contento dissertationis prodromus“ и появилось въ 1669 году въ Флоренціи. Затѣмъ въ теченіе года Стенсенъ путешествовалъ по Европѣ и по возвращеніи въ Флоренцію, въ 1672 году снова получилъ приглашеніе въ Копенгагенъ. На этотъ разъ онъ принялъ приглашеніе, но его пребываніе въ Копенгагенѣ продолжалось лишь полтора года. Въ концѣ 1674 г. Стенсенъ снова вернулся въ Флоренцію, такъ какъ религіозныя преслѣдованія сдѣлали для него тягостнымъ пребываніе въ Копенгагенѣ. Съ этихъ поръ онъ пересталъ заниматься естественными науками. Онъ сдѣлался священникомъ, жилъ въ качествѣ папскаго викарія въ Ганноверѣ и Гамбургѣ и умеръ въ 1686 году въ Шверинѣ въ Мекленбургѣ.

19. Какъ секретарь Accademia del Cimento, Магалотти находился въ перепискѣ со всѣмъ ученымъ міромъ и Академія была какъ бы фокусомъ, въ которомъ сходились всѣ лучи современнаго ей естествознанія, оказывая здѣсь сильное дѣйствіе. Къ содержанію „Saggi“, которое распадается на 13 главъ, мы въ послѣдующемъ будемъ возвращаться нѣсколько разъ.

Приборы, которыми Академія по преимуществу пользовалась при своихъ опытахъ, были термометръ, гигрометръ и маятникъ.

20. Термометръ Accademia del Cimento былъ того же рода, что и спиртовый термометръ великаго герцога Фердинанда. Превосходный стеклодувъ Моріани приготовлялъ трубки такъ точно, что показанія различныхъ приборовъ почти совпадали. По всей вѣроятности онъ вывѣрялъ всѣ свои

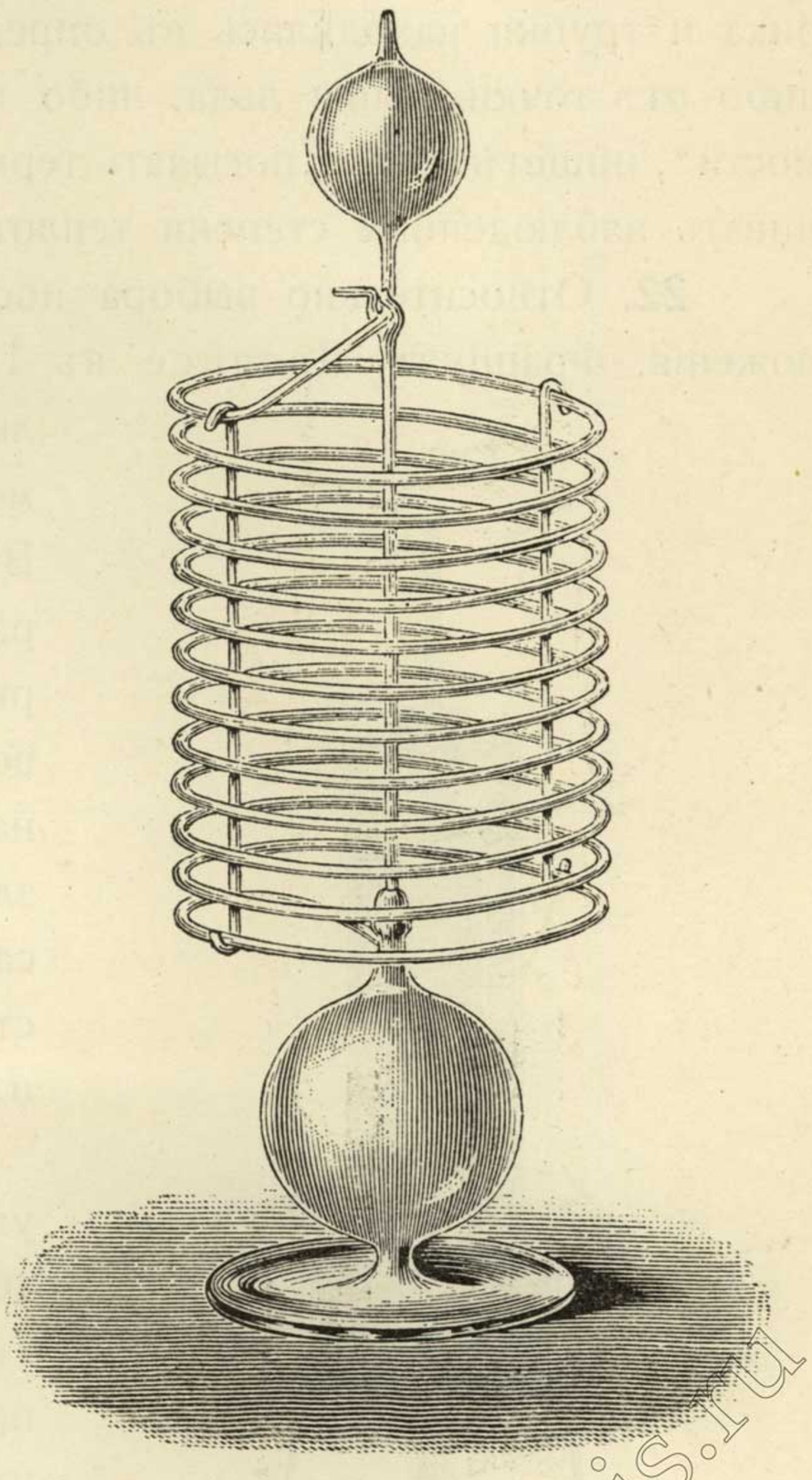
http://mathesis.ru

термометры по одному и тому же нормальному термометру. Дѣленія на трубки онъ наносилъ при помощи припаянныхъ стеклянныхъ бусинокъ (рис. 16), изъ которыхъ каждая десятая была сдѣлана бѣлой, тогда какъ остальныя были окрашены въ черный цвѣтъ. Обыкновенно трубка дѣлилась на 50 равныхъ частей (градусовъ), но болѣе длинныя дѣлились иногда и на 100 частей. Въ Академіи имѣлись даже термометры, раздѣленные на 300 и 400 частей. Трубки этихъ приборовъ были изогнуты въ формѣ спирали (рис. 17).

Чѣмъ уже и длиннѣе были трубки термометровъ, тѣмъ труднѣе было приготовить нѣсколько термометровъ, дающихъ согласныя показанія; изготовленіе же приборовъ съ 50 дѣленіями представляло меньше затрудненій.

Счастливый случай далъ возможность провѣрить эти старые приборы. Въ 1829 году Антинори нашелъ во Флоренціи ящикъ съ большимъ количествомъ 50-градусныхъ термометровъ Академіи. Итальянскій математикъ Гульельмо Либри (1803—1869) наблюдалъ показанія этихъ термометровъ, принимая во вниманіе замѣчаніе, содержащееся въ „Saggi“, что одинъ изъ этихъ термометровъ показывалъ въ ледяной водѣ $13^1/_2{}^0$, а въ самую сильную лѣтнюю жару 40^0.

Рис. 17



Флорентійскій 300 и 400-градусный термометръ.

Сообразно этому Либри наполнилъ одну изъ старыхъ трубокъ виннымъ спиртомъ, такъ что она показывала въ водѣ со льдомъ $13^1/_2{}^0$, и нашелъ, что 50 флорентійскихъ градусовъ составляютъ 44^0 Реомюра. Нулевая точка стараго термометра соотвѣтствовала, слѣдовательно, -12^0 Р. Такимъ образомъ, мы имѣемъ возможность перевести флорентійскіе градусы въ градусы Реомюра. Этимъ путемъ было найдено, что наблюденія, сдѣланныя великимъ герцогомъ Фердинандомъ за промежутокъ времени отъ 1654 до 1670 г. надъ средней температурой Флоренціи, совпадаютъ съ современными наблюденіями.

21. Наблюдая термометръ, Accademia del Cimento, какъ было сказано, установила тотъ фактъ, что въ тающемъ льдѣ онъ всегда показываетъ одну и ту же температуру, и едва-ли подлежитъ сомнѣнію, что академикамъ было ясно значеніе этого факта: ледъ всегда таетъ при одной и той же температурѣ; однако, они повидимому не воспользовались температурой таянія льда, какъ постоянной точкой для термометрической шкалы.

Въ 1661 г. Royal Society въ Лондонѣ получило одинъ флорентійскій термометръ и Робертъ Бойль тотчасъ же поручилъ своимъ ассистентамъ приготовить подобный приборъ. Уже съ 1664 г. онъ считалъ градусы, начиная съ точки таянія льда, т. е. съ температуры смѣси льда съ водою.

http://mathesis.ru

Гюйгенсъ, который состоялъ въ перепискѣ съ Royal Society, также работалъ надъ термометрами и въ 1665 г. сдѣлалъ важное наблюденіе, что температура кипящей воды остается постоянной подобно температурѣ тающаго льда. Это дало вторую постоянную точку шкалы. Для этого наблюденія Гюйгенсъ долженъ былъ употребить въ качествѣ термометрической жидкости ртуть, такъ какъ спиртъ кипитъ при еще болѣе низкой температурѣ, чѣмъ вода. Возможно, что онъ узналъ это отъ флорентійскихъ академиковъ, которые при нѣкоторыхъ опытахъ въ качествѣ жидкости для термометровъ вмѣсто спирта употребляли ртуть. Теперь показанія любыхъ двухъ термометровъ стали сравнимыми. Нужно отмѣтить на обоихъ термометрахъ высоту жидкости, когда приборъ погруженъ въ тающій ледъ и въ кипящую воду, и раздѣлить разстояніе между этими двумя точками на обоихъ термометрахъ на одинаковое число частей.

Но самъ Гюйгенсъ не сдѣлалъ этого важнаго примѣненія своихъ наблюденій. Онъ предложилъ Royal Society приготовлять термометры такъ, чтобы ёмкости шарика и трубки находились въ опредѣленномъ отношеніи и чтобы градусы считались либо отъ точки таянія льда, либо отъ точки кипѣнія воды: „тогда нѣтъ необходимости“, пишетъ онъ, „посылать термометръ изъ одного мѣста въ другое, чтобы сравнивать наблюденныя степени теплоты“.

22. Относительно выбора постоянныхъ точекъ были сдѣланы различныя предложенія. Французъ Далансе въ 1688 г. предложилъ принять за нихъ точку таянія льда и точку плавленія коровьяго масла, разстояніе между которыми онъ дѣлилъ на 20 градусовъ.— Въ томъ же году Галилей установилъ, насколько расширяются ртуть и вода въ открытыхъ термометрическихъ трубкахъ при погруженіи въ кипящую воду. Онъ нашелъ, что ртуть всегда подымается на одну и ту же высоту, т. е. что вода всегда закипаетъ при одной и той же температурѣ. То же самое онъ наблюдалъ для спирта. Поэтому за постоянныя точки онъ предложилъ принять точку кипѣнія спирта и точку таянія льда.

Рис. 18

Приборъ для опредѣленія точки кипѣнія.

Шесть лѣтъ спустя Ренальдини предложилъ употреблять въ качествѣ постоянныхъ точекъ для термометрическихъ дѣленій точку таянія льда и точку кипѣнія воды, что съ тѣхъ поръ и было принято повсюду. Впослѣдствіи было обнаружено, что точка кипѣнія воды находится въ нѣкоторой зависимости отъ устройства сосуда, между тѣмъ какъ образующійся водяной паръ при нормальномъ давленіи воздуха всегда имѣетъ одинаковую температуру. Поэтому, чтобы отмѣтить на термометрѣ точку кипѣнія воды, употребляютъ приборъ, устройство котораго ясно изъ рис. 18. Въ немъ термометръ окруженъ паромъ и совершенно не касается воды. О вліяніи давленія воздуха на точку кипѣнія будетъ рѣчь ниже.

23. Но несмотря на эти и нѣкоторыя другія предложенія, въ началѣ XVIII вѣка

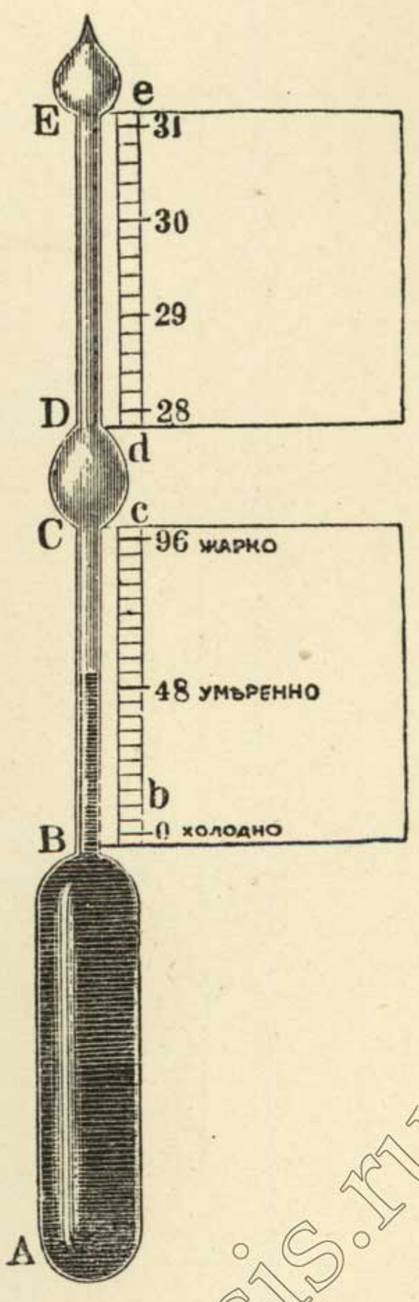
http://mathesis.ru

трудно было изготовлять термометры, показанія которыхъ были бы согласны между собой. Еще въ 1714 г. профессоръ Хр. Вольфъ, канцлеръ университета въ Галле, выразилъ свое удивленіе относительно двухъ согласовавшихся другъ съ другомъ термометровъ, полученныхъ имъ отъ Фаренгейта.

Даніель Габріель Фаренгейтъ родился въ 1686 г. въ Данцигѣ. Его отецъ отправилъ его въ 1701 г. въ Амстердамъ изучать коммерческое дѣло. Любимымъ занятіемъ Фаренгейта была, однако, физика. Для завершенія своего образованія Фаренгейтъ путешествовалъ нѣсколько лѣтъ по Англіи, Франціи и Германіи. Благодаря своему искусству изготовлять чувствительные и согласующіеся между собой термометры, онъ былъ вездѣ хорошо принятъ физиками.

Вначалѣ Фаренгейтъ изготовлялъ термометры, наполненные спиртомъ по флорентійскому образцу; но впослѣдствіи (1720) онъ перешелъ къ ртутному термометру, который много обязанъ ему своимъ распространеніемъ. Для шкалы онъ пользовался тремя постоянными точками, а именно температурой охлаждающей смѣси изъ льда, воды, нашатыря и поваренной соли, которая была самой низкой изъ извѣстныхъ ему температуръ и которую онъ поэтому обозначилъ нулемъ, температурой тающаго льда, которую онъ обозначилъ числомъ 32, и температурой человѣческой крови, которую онъ опредѣлялъ во рту или подъ мышками и обозначалъ числомъ 96. Температура тающаго льда постоянна, двѣ другія температуры мѣняются и Фаренгейтъ употреблялъ одну изъ нихъ для провѣрки другой.

Рис. 19



Термобарометръ Фаренгейта.

Фаренгейтъ такимъ образомъ не воспользовался для шкалы точкой кипѣнія воды, которой на его шкалѣ соотвѣтствуетъ 212°. Именно, онъ уже замѣтилъ, что точка кипѣнія воды измѣнчива и что она опускается и подымается вмѣстѣ съ давленіемъ воздуха. Это побудило его устроить термобарометръ, посредствомъ котораго онъ могъ опредѣлять давленіе воздуха. Этотъ приборъ (рис. 19) въ нижней части, до 96 градуса, былъ раздѣленъ обыкновеннымъ образомъ, въ верхней же части былъ снабженъ дѣленіями, которыя показывали давленіе воздуха въ дюймахъ. При опусканіи въ кипящую воду приборъ показывалъ давленіе воздуха въ данный моментъ.

Фаренгейтъ сдѣлалъ при своихъ изслѣдованіяхъ много замѣчательныхъ наблюденій, о которыхъ мы упомянемъ впослѣдствіи. Онъ провелъ большую часть своей жизни въ Голландіи въ качествѣ стеклодува и умеръ въ 1736 г.

Термометрическая шкала Фаренгейта, на которой точка таянія льда обозначена 32°, а точка кипѣнія воды 212°, нашла широкое распространеніе и еще въ настоящее время находится во всеобщемъ употребленіи въ Англіи и въ Сѣверной Америкѣ.

24. Въ средней Европѣ и въ Скандинавіи шкала Фаренгейта была вытѣснена шкалой Реомюра.

Рене де Реомюръ (1683—1757), членъ французской Академіи, обозначалъ точку таянія льда 0°, а точку кипѣнія воды 80°. Онъ изготовлялъ первоначально термометры, наполненные спиртомъ, и его 80° были собственно точкой кипѣнія спирта.

http://matnesis.ru

Термометръ, наполненный спиртомъ, не можетъ показать температуры кипѣнія воды. Термометры Реомюра далеко не были такими точными, какъ термометры Фаренгейта. Только Делюку въ 1772 г. удалось изготовить хорошіе ртутные термометры съ дѣленіями Реомюра согласно предложенію Ренальдини. Для раздѣленія термометровъ онъ пользовался точкой таянія льда и точкой кипѣнія воды. Въ термометрахъ, употребляемыхъ въ настоящее время, дѣленія продолжаются за точку таянія льда внизъ. Градусы ниже нулевой точки называются отрицательными или градусами мороза и отмѣчаются знакомъ минусъ (—) въ отличіе отъ положительныхъ градусовъ (+) или градусовъ тепла. Такъ,—14° означаетъ температуру въ 14° ниже точки таянія льда.

25. Наиболѣе цѣлесообразной термометрической шкалой для научныхъ цѣлей является 100-градусная шкала Цельзія. Андерсъ Цельзій родился въ 1701 году въ Упсалѣ и въ возрастѣ 29 лѣтъ сталъ профессоромъ астрономіи въ универси-

Рис. 20



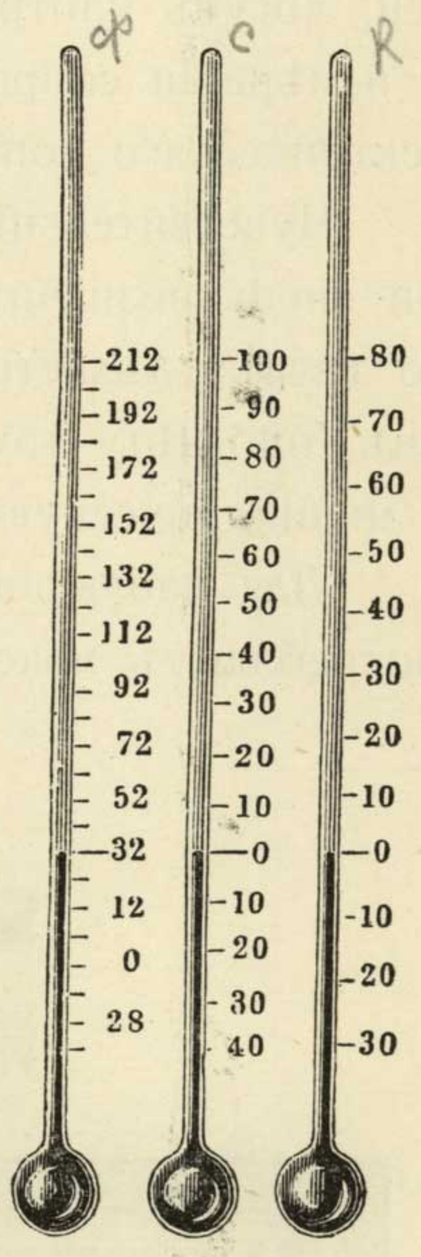
Андерсъ Цельзій.

тетѣ своего родного города. Въ Швеціи въ то время не существовало обсерваторій, а Упсальскій университетъ обладалъ лишь немногими и притомъ устарѣлыми астрономическими измѣрительными приборами. Цельзій, энергичный по природѣ и горячо желавшій содѣйствовать тому, чтобы въ развитіи наукъ его отечество стояло наравнѣ съ остальными странами, устроилъ себѣ еще раньше, чѣмъ сталъ профессоромъ, частную обсерваторію, на которой производилъ правильныя астрономическія и метереологическія наблюденія. Это и побудило шведское правительство основать въ 1740 г. первую оффиціальную обсерваторію. Послѣ назначенія

http://mathesis.ru

рофессоромъ Цельзій отправился на нѣсколько лѣтъ въ путешествіе заграницу и въ 1734 г. пріѣхалъ въ Парижъ какъ разъ въ то время, когда Бугеръ собирался ѣхать въ Перу, чтобы производить тамъ градусныя измѣренія (I, § 278). Цельзій предложилъ произвести подобное же измѣреніе и на сѣверѣ. Такимъ образомъ ему принадлежитъ иниціатива градуснаго измѣренія, произведеннаго въ Финмаркенѣ Мопертюи (I, § 279), въ которомъ онъ и самъ принялъ участіе по порученію шведскаго правительства.—Другое дѣло, которымъ онъ ревностно занимался, было введеніе Григоріанскаго календаря въ Швеціи, гдѣ въ то время лѣтосчисленіе велось еще по Юліанскому календарю, между тѣмъ какъ въ Даніи Григоріанскій календарь былъ введенъ уже съ 1700 года. Цельзій не дожилъ до введенія новаго календаря, которое послѣдовало лишь въ 1753 году, спустя 9 лѣтъ послѣ его смерти на 43 году жизни. Въ теченіе своей короткой жизни онъ посвятилъ всѣ свои силы служенію родинѣ и наукѣ. Изъ его многочисленныхъ работъ (онъ, между прочимъ, показалъ, что сила тяжести въ Лондонѣ и Упсалѣ не одинакова, что уровень моря у шведскаго берега постоянно понижается) мы здѣсь отмѣтимъ его „Наблюденія надъ двумя постоянными градусами термометра“ (1742). Въ этомъ сочиненіи онъ обозначаетъ точку замерзанія 100^0, а точку кипѣнія 0^0. Его приборъ показывалъ, такимъ образомъ, при возрастаніи температуры меньшее число градусовъ. Онъ хотѣлъ этимъ путемъ избѣжать отрицательныхъ чиселъ для низкихъ температуръ, но уже въ 1750 году шведская Академія по предложенію Мартина Стрёмерса (1707—1770) замѣнила шкалу Цельзія тою, которая употребляется въ настоящее время, а именно, обозначила точку замерзанія 0^0, а точку кипѣнія 100^0. Разумѣется, шкала можетъ быть продолжена ниже 0 (отрицательные градусы или градусы мороза) и выше 100.

Рис. 21



Три термометрическія шкалы.

При сравненіи трехъ термометрическихъ шкалъ: Фаренгейта (Ф), Реомюра (Р) и Цельзія (С) нужно имѣть въ виду, что точка таянія льда обозначена у Фаренгейта 32^0, а у Цельзія и Реомюра 0^0. Разстояніе между точкой таянія льда и точкой кипѣнія воды по Фаренгейту равно 180^0, по Реомюру 80^0 и по Цельзію 100^0. Слѣдовательно, $9^0\,Ф = 4^0\,Р = 5^0\,С$. Переводъ градусовъ одного термометра въ градусы другого производится слѣдующимъ образомъ:

Примѣръ 1. $68^0\,Ф$ на $68 - 32 = 36^0\,Ф$ выше точки таянія льда, слѣдовательно, они представляютъ $\frac{36}{9} \cdot 4 = 16^0\,Р$ или $\frac{36}{9} \cdot 5 = 20^0\,С$.

Примѣръ 2. $-22^0\,Ф$ представляютъ собой $22 + 32 = 54^0\,Ф$ ниже нуля или, слѣдовательно, $-\frac{54}{9} \cdot 4 = -24^0\,Р$, или $-\frac{54}{9} \cdot 5 = -30^0\,С$.

Примѣръ 3. $-8^0\,Р$ равны $-10^0\,С$ или $\frac{8}{4} \cdot 9 = 18^0\,Ф$ ниже точки таянія льда, слѣдовательно, $32 - 18 = 14^0\,Ф$.

26. Самымъ точнымъ термометромъ является воздушный, такъ какъ воздухъ

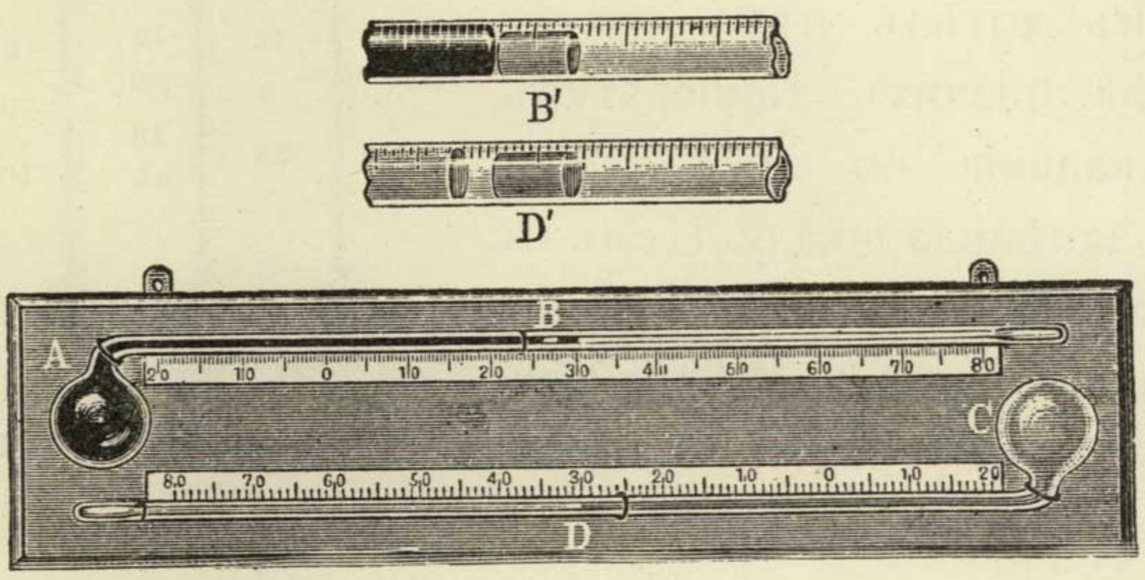
http://mathesis.ru

расширяется сильнѣе и равномѣрнѣе, чѣмъ твердыя тѣла и жидкости. Однако, воздушный термометръ неудобенъ и поэтому не примѣняется для обычныхъ наблюденій температуры. Термометры съ жидкостями могутъ быть, конечно, сравнены съ воздушнымъ термометромъ и градуированы соотвѣтственно съ нимъ. Жидкостью для обыкновенныхъ термометровъ чаще всего служитъ ртуть. При очень низкихъ температурахъ примѣняются спиртовые термометры, такъ какъ спиртъ замерзаетъ лишь при —130°. Для устройства термометровъ, служащихъ для измѣренія очень низкихъ температуръ, годятся также другія жидкости, напримѣръ, толуолъ и такъ называемый петролейный эѳиръ. Для температуръ, лежащихъ ниже точки замерзанія этихъ жидкостей, могутъ употребляться только газовые термометры или термометры, основанные на измѣреніи сопротивленій. Въ послѣднихъ о температурѣ судятъ по измѣненіямъ электрическаго сопротивленія (платины).

Чувствительный термометръ долженъ замѣтно подыматься и опускаться даже при очень незначительномъ нагрѣваніи или охлажденіи. Это достигается тѣмъ, что его трубка дѣлается возможно болѣе узкой. А чтобы столбикъ ртути былъ ясно виденъ, просвѣту трубки придаютъ такое поперечное сѣченіе, чтобы ртуть образовала не цилиндрическую колонну, а тонкую плоскую ленту.

Для наблюденія самой высокой и самой низкой температуры въ теченіе сутокъ употребляютъ максимумъ и минимумъ-термометры; ихъ существуетъ нѣсколько видовъ. На рис. 22 изображенъ приборъ, очень распространенный въ прежнее время; онъ былъ предложенъ въ 1794 г. шотландскимъ врачомъ и ботаникомъ Даніелемъ Рётгерфордомъ (1749—1819).

Рис. 22



Максимумъ и минимумъ-термометръ.

Максимумъ-термометръ представляетъ собой обыкновенный ртутный термометръ, въ трубкѣ котораго впереди ртути лежитъ желѣзный столбикъ. Расширяясь, ртуть двигаетъ передъ собой этотъ столбикъ; онъ остается въ томъ мѣстѣ, до котораго дошелъ, когда ртуть снова начинаетъ сжиматься. Такимъ образомъ, своимъ концомъ, обращеннымъ къ ртути, столбикъ указываетъ наивысшую температуру, которую термометръ отмѣтилъ въ теченіе сутокъ.

Минимумъ-термометръ представляетъ собой спиртовый термометръ. Онъ расположенъ, какъ видно изъ рисунка, рядомъ съ максимальнымъ термометромъ, параллельно ему и въ немъ находится маленькій столбикъ изъ цвѣтного стекла. Этотъ столбикъ лежитъ въ спирту и остается въ покоѣ, когда спиртъ расширяется. Когда же, наоборотъ, спиртъ сжимается и доходитъ своей вогнутой поверхностью до стекляннаго столбика, то въ силу поверхностнаго натяженія столбикъ уносится вмѣстѣ съ жидкостью и остается на мѣстѣ, когда жидкость снова начинаетъ расширяться. Стеклянная палочка указываетъ, такимъ образомъ, наиболѣе низкую температуру, которую термометръ отмѣтилъ за сутки.

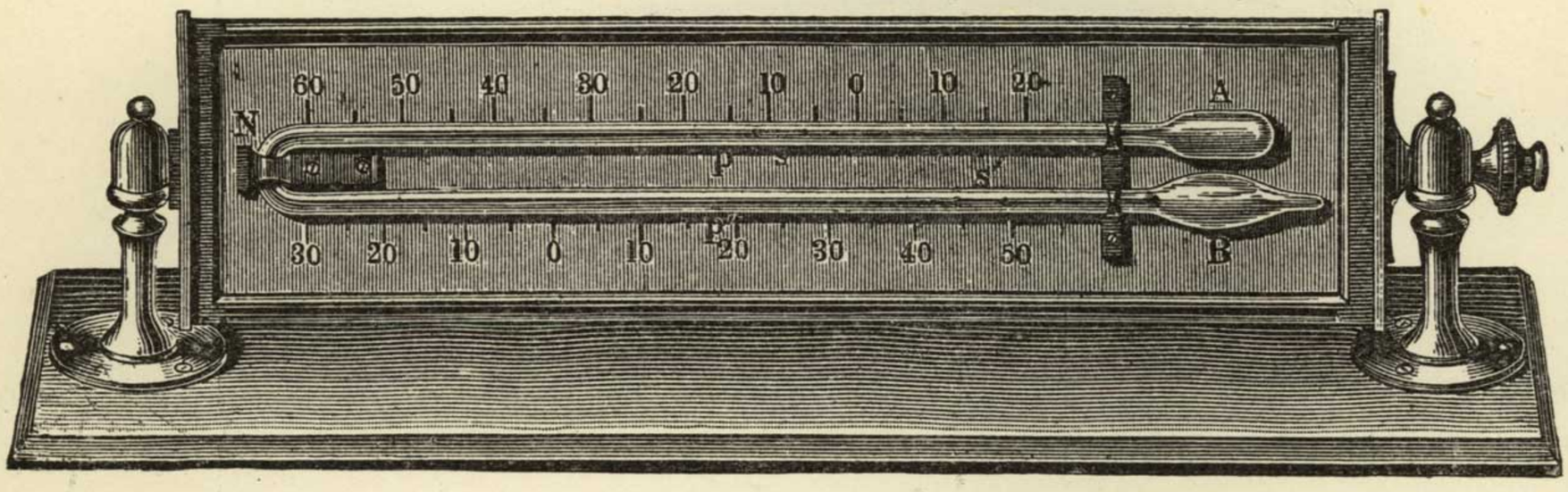
Послѣ того какъ, еще до полдня, были отмѣчены максимальная и минимальная

http://mathesis.ru

температуры, доску, на которой укрѣплены оба термометра, поворачиваютъ такимъ образомъ, чтобы шарикъ съ ртутью очутился внизу, а шарикъ со спиртомъ вверху.

Максимумъ и минимумъ-термометръ Сикса, который въ новѣйшее время часто употребляется вмѣсто термометра Рётгерфорда, состоитъ изъ изогнутой стеклянной трубки ANB (рис. 23), которая отъ A до p наполнена спиртомъ, отъ p до p' ртутью, а отъ p' до B снова спиртомъ; этотъ послѣдній объемъ не вполнѣ заполненъ жидкостью и сосудъ B содержитъ пузырекъ пара. Расширеніе и сжатіе спирта въ части отъ A до p двигаетъ взадъ и впередъ ртутный столбикъ. Изъ двухъ

Рис. 23

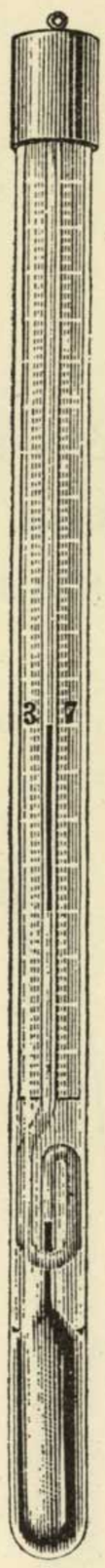


Максимумъ и минимумъ-термометръ Сикса.

желѣзныхъ палочекъ, которыя передвигаются этимъ столбикомъ, одна показываетъ максимумъ, а другая минимумъ температуры. При вертикальномъ положеніи прибора обѣ желѣзныя палочки прижимаются двумя упругими стеклянными нитями къ стѣнкамъ трубки, что мѣшаетъ имъ соскальзывать внизъ. Каждый день, лучше всего до полдня, когда минимумъ послѣдней ночи уже былъ отмѣченъ, а максимумъ текущаго дня еще не наступилъ, нужно придвигать желѣзныя палочки при помощи магнита къ концу столбика ртути.

Такъ называемый медицинскій термометръ, которымъ пользуются врачи, имѣетъ устройство, изображенное на рис. 24. Въ трубкѣ находится короткій столбикъ ртути, отдѣленный отъ ртути въ сосудѣ столбикомъ воздуха. Когда ртуть въ сосудѣ расширяется, этотъ столбикъ ртути вслѣдствіе давленія воздушнаго столбика передвигается и остается, когда термометръ снова охлаждается, въ точкѣ, указывающей высшую температуру, до которой былъ нагрѣтъ термометръ. Встряхивая приборъ, можно привести столбикъ ртути въ первоначальное положеніе.

Рис. 24



Медицинскій термометръ.

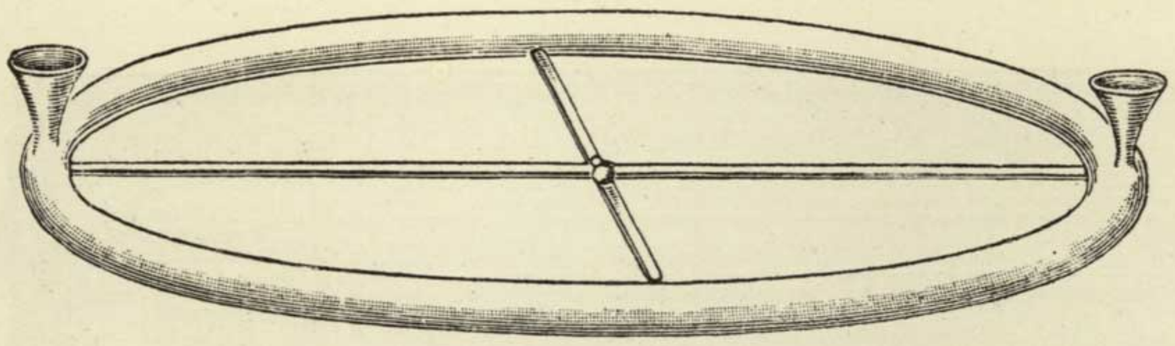
27. Accademia del Cimento доказала опытнымъ путемъ, что и твердыя тѣла подъ вліяніемъ теплоты расширяются. То, что, напримѣръ, стекло расширяется при нагрѣваніи, они наблюдали при помощи обыкновеннаго термометра. Когда они на одно мгновеніе подносили пламя къ шарику термометра, то замѣчали, что жидкость въ трубкѣ падаетъ. При внезапномъ нагрѣваніи стекло расширяется, прежде чѣмъ успѣваетъ нагрѣться жидкость. Вслѣдствіе увеличенія сосуда уровень жидкости понижается. Спустя мгновеніе она подымается, такъ какъ за это время теплота успѣваетъ распространиться черезъ стекло до спирта, который расширяется гораздо сильнѣе стекла. Чтобы сдѣлать расширеніе стекла болѣе наглядным, Академія пользовалась

http://mathesis.ru

приборомъ, изображеннымъ на рис. 25. Онъ состоялъ изъ полаго стекляннаго кольца и деревяннаго креста, такъ пригнаннаго, что кольцо плотно держало его. Если наполнить такое кольцо горячей водой, то вслѣдствіе нагрѣванія оно расширится и крестъ выпадетъ изъ него.

На рис. 26 и 27 изображены два прибора, описанные въ „Saggi“ и служившіе для доказательства того, что металлы при нагрѣваніи расширяются такъ же, какъ и стекло. Два конца деревянной дуги (рис. 26) стянуты проволокой; на веревкѣ, прикрѣпленной къ проволокѣ, виситъ шаръ, качающійся вплотную надъ зеркаломъ.

Рис. 25



Расширеніе стекла отъ нагрѣванія.

Желѣзная проволока, нагрѣваясь, удлиняется, концы дуги расходятся, шаръ приподымается и вмѣстѣ съ тѣмъ отодвигается его изображеніе въ зеркалѣ. Другой приборъ показываетъ расширеніе металлическаго кольца. Его подставка оканчивается вверху маленькимъ цилиндромъ, діаметръ котораго равенъ діаметру просвѣта изображеннаго отдѣльно кольца. Если нагрѣть кольцо и насадить его на цилиндръ, то окажется, что оно слишкомъ велико.

Рис. 26

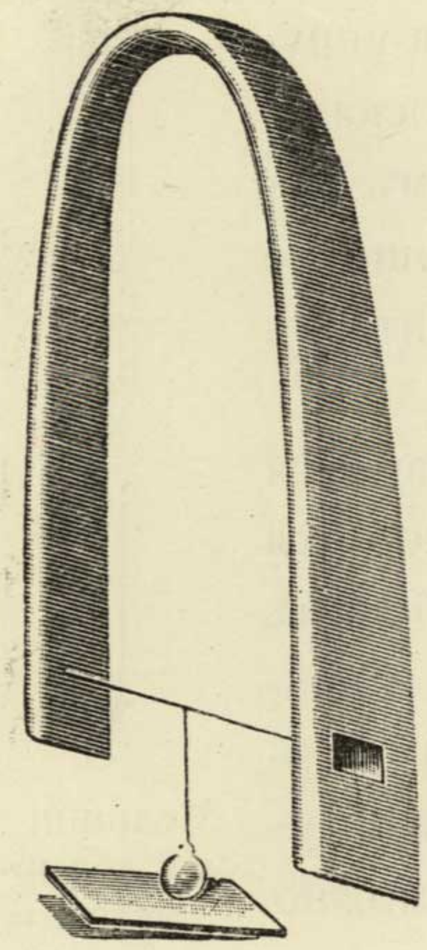


Рис. 27



Расширеніе металловъ отъ нагрѣванія.

28. Расширеніе при нагрѣваніи и сжатіе при охлажденіи происходитъ какъ у жидкихъ, такъ и у твердыхъ тѣлъ съ огромной силой. Какое практическое употребленіе можно при случаѣ сдѣлать изъ этой силы, видно на слѣдующемъ примѣрѣ. Въ одномъ парижскомъ музеѣ подъ давленіемъ тяжелаго свода стѣны поддались и наклонились наружу. Моларъ, директоръ музея, соединилъ противоположныя стѣны желѣзными стержнями, которые снаружи снабжены были гайками (рис. 28). Послѣ того, какъ стержни отъ нагрѣванія расширились, гайки были вплотную навинчены на нихъ. Охладившись, стержни опять укоротились до своей первоначальной длины съ такой силой, что стѣны снова были приведены въ вертикальное положеніе.

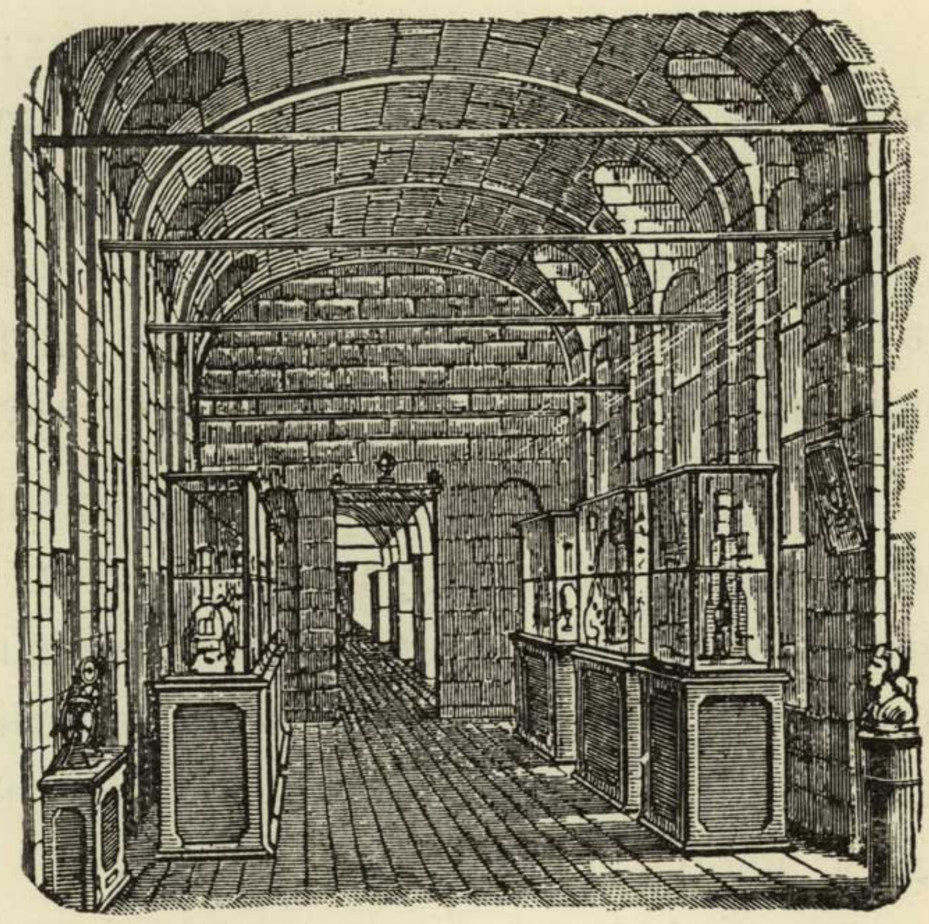
Для многихъ вычисленій очень важно знать величину расширенія при опредѣленной степени нагрѣванія. Поэтому было произведено много измѣреній для опредѣленія этой величины.

Французскіе физики Лапласъ и Лавуазье въ концѣ XVIII вѣка опредѣляли

http://mathesis.ru

удлиненіе металлическихъ стержней при помощи приборовъ, изображенныхъ на рис. 29 и 30. Между четырьмя прочными каменными столбами находится продолговатое корыто изъ листовой мѣди. Между двумя изъ этихъ столбовъ на двухъ горизонтальныхъ перекладинахъ укрѣпленъ вертикальный стержень *b*. Въ него упирается одинъ конецъ металлическаго стержня длиной въ 6 футовъ, который покоится на двухъ поперечинахъ на днѣ корыта. Другой конецъ этого стержня упирается въ плечо рычага *c*, укрѣпленнаго на вращающейся оси *d* между двумя другими каменными столбами. На той же оси находится зрительная труба *f*. Для опыта съ этимъ приборомъ корыто наполняется сначала тающимъ льдомъ. Испытуемый стержень принимаетъ вслѣдствіе этого температуру 0^0 и имѣетъ длину, соотвѣтствующую этой температурѣ. Зрительная труба направляется на шкалу и перекрестныя нити устанавливаются на опредѣленное дѣленіе. Затѣмъ корыто наполняется кипящей водой. Вслѣдствіе удлиненія металлическаго стержня зрительная труба повертывается и указываетъ на другое дѣленіе шкалы. Изъ этого наблюденія путемъ простого вычисленія получается,

Рис. 28



Выпрямленіе наклонившихся стѣнъ.

Рис. 29

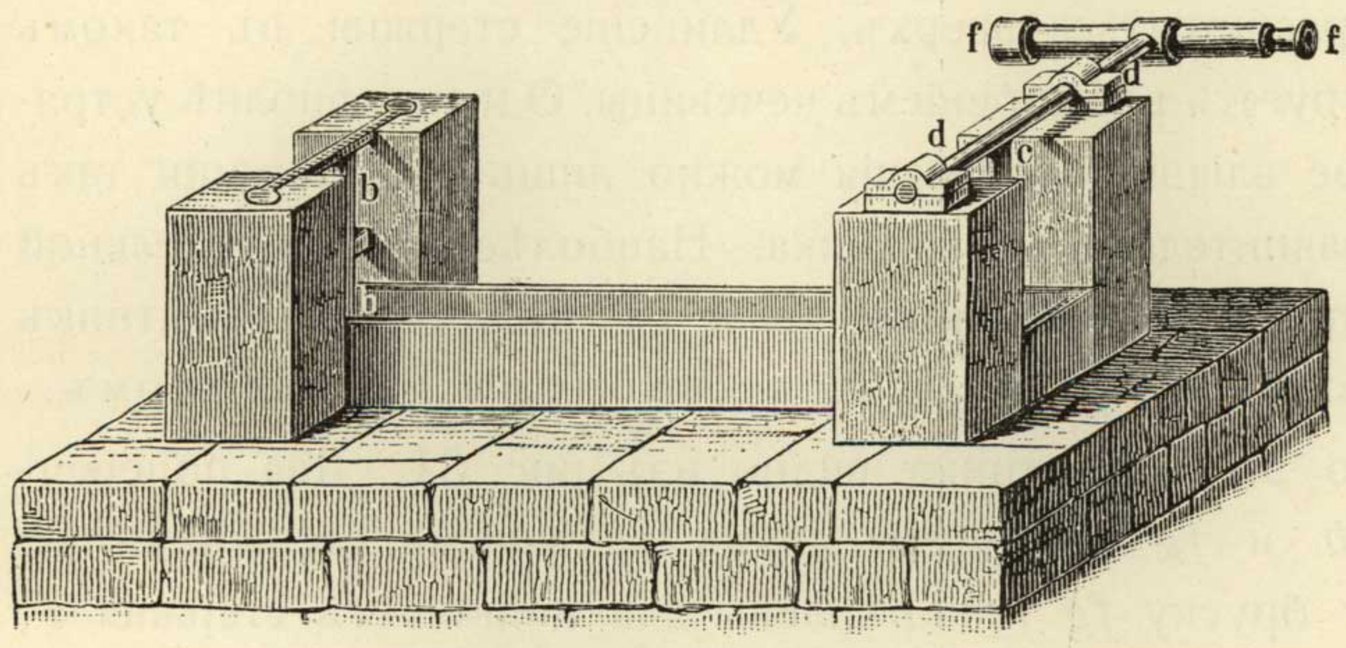
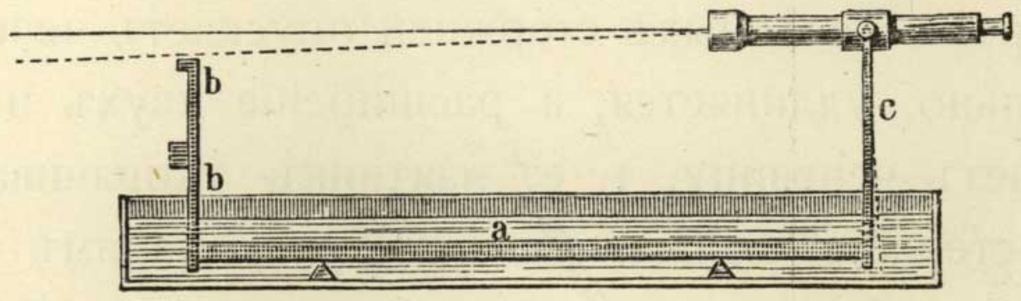


Рис. 30



Измѣреніе линейнаго расширенія.

насколько расширился стержень вслѣдствіе нагрѣванія. Измѣреніями такого рода было найдено, что удлиненіе стержня въ 1 *м* длиной при нагрѣваніи отъ 0^0 до 100^0 равно (въ миллиметрахъ) для:

http://mathesis.ru

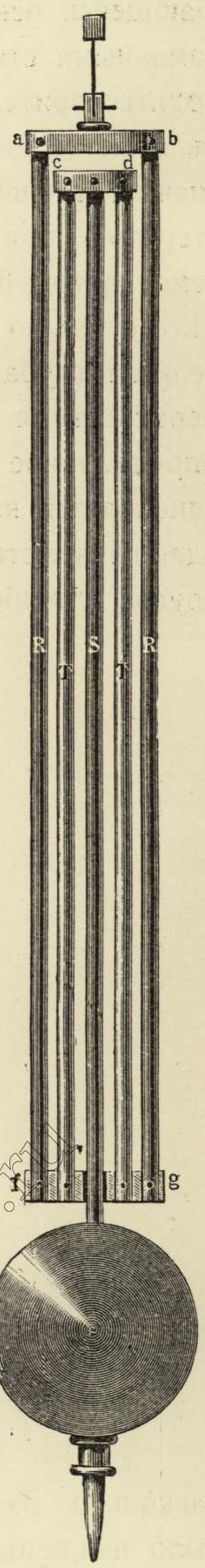
стекла	0·8	латуни	1·9
платины	0·9	серебра	1·9
стали	1·1	олова	2·0
желѣза	1·2	свинца	2·8
золота	1·4	цинка	3 0
мѣди	1·7		

При обыкновенныхъ температурахъ металлы расширяются равномѣрно, т. е. расширеніе на каждый отдѣльный градусъ выходитъ одно и то же. При болѣе высокихъ температурахъ расширеніе, напротивъ того, больше, чѣмъ при болѣе низкихъ. Разумѣется, теплота дѣйствуетъ не только въ направленіи длины, но и во всѣхъ направленіяхъ. Это приходится принимать во вниманіе, когда дѣло идетъ объ увеличеніи объема.

29. Съ расширеніемъ металловъ приходится считаться во многихъ случаяхъ. Когда кузнецъ кладетъ шину на колесо, онъ насаживаетъ ее, предварительно разогрѣвши. Когда шина затѣмъ охлаждается, она охватываетъ колесо вплотную. Рельсы укладываются на шпалы такимъ образомъ, чтобы между каждыми двумя рельсами получался небольшой зазоръ на случай ихъ расширенія. Желѣзные мосты должны строиться такъ, чтобы ихъ расширеніе при нагрѣваніи и сжатіе при охлажденіи происходили безпрепятственно.

Часы, регулируемые маятникомъ (или балансиромъ), идутъ въ теплѣ медленнѣе, чѣмъ на холодѣ. Это частью устраняется тѣмъ, что чечевица, прикрѣпленная къ нижнему концу стержня маятника, удерживается на нижнемъ краю такимъ образомъ, что можетъ безпрепятственно расширяться вверхъ. Удлиненіе стержня въ такомъ случаѣ компенсируется расширеніемъ чечевицы. Однако, вполнѣ устранить это вредное вліяніе нагрѣванія можно лишь при помощи такъ называемаго уравнительнаго маятника. Наиболѣе употребительной формой уравнительнато маятника является рѣшетчатый маятникъ (Rostpendel), изобрѣтенный въ 1726 г. Джономъ Гаррисономъ.

Устройство этого маятника видно изъ рис. 31. Два поперечныхъ бруска *ab* и *fg* соединены двумя желѣзными стержнями *R*; къ поперечному бруску *fg* прикрѣплены два цинковыхъ стержня *T*, соединяющихся на верхнемъ концѣ брускомъ *cd*. Къ послѣднему прикрѣпленъ желѣзный стержень *S*, на нижнемъ концѣ котораго находится чечевица. Расширеніе трехъ желѣзныхъ стержней опускаетъ чечевицу и маятникъ, слѣдовательно, удлиняется, а расширеніе двухъ цинковыхъ брусковъ подымаетъ чечевицу, т. е. маятникъ укорачивается. Длины металлическихъ стержней должны быть выбраны такимъ образомъ, чтобы удлиненіе, обусловленное расширеніемъ желѣзныхъ стержней, было въ точности равно укорачиванію цинковыхъ. Это будетъ достигнуто въ томъ случаѣ, когда отношеніе суммы длинъ одного изъ внѣшнихъ и средняго стержней (изъ желѣза) къ длинѣ одного изъ двухъ цинковыхъ стержней равно обратному отношенію



Рѣшетчатый маятникъ.

http://mathesis.ru

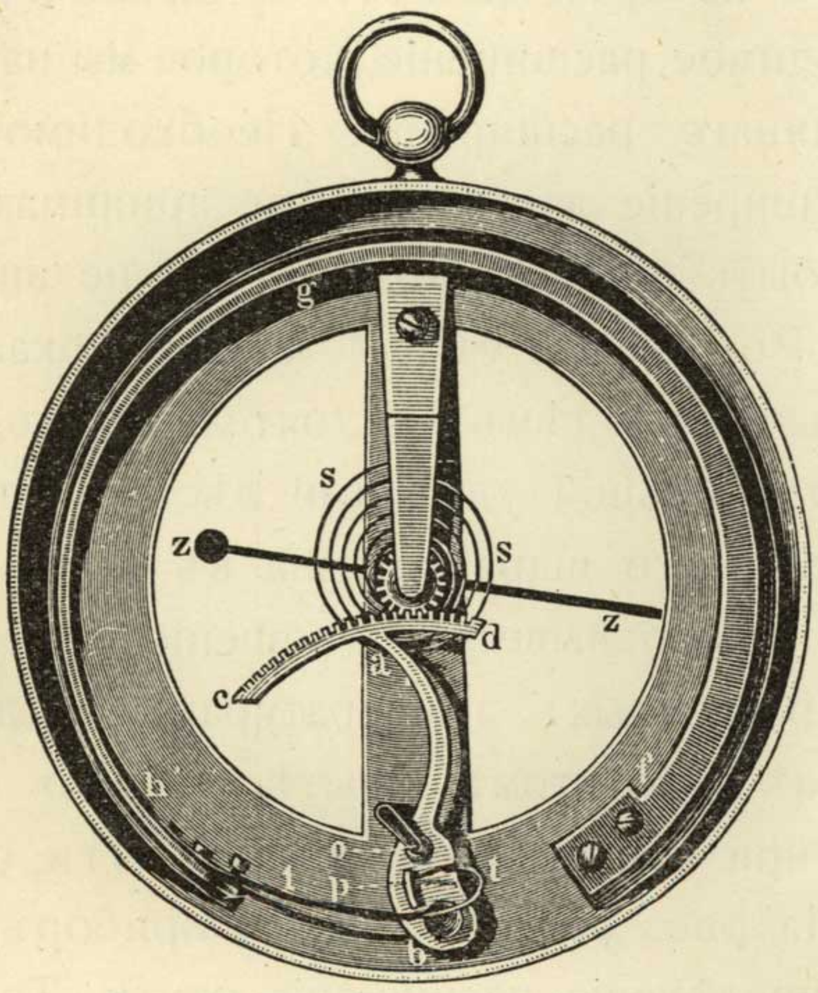
коэффиціентовъ расширенія желѣза и цинка, т. е. чиселъ, указанныхъ для этихъ металловъ въ предыдущей таблицѣ.

Примѣръ 1. Рельсъ имѣетъ при 20^0 С длину въ 6 *м*. Какъ велика разница его длинъ при $+40^0$ С и при -30^0С?

Примѣръ 2. Маятникъ со стержнемъ изъ платины имѣетъ на нижнемъ концѣ круглый цинковый дискъ, прикрѣпленный указаннымъ выше способомъ. Во сколько разъ длина стержня должна превышать діаметръ линзы, чтобы разстояніе центра чечевицы отъ точки привѣса при измѣненіи температуры оставалось неизмѣннымъ?

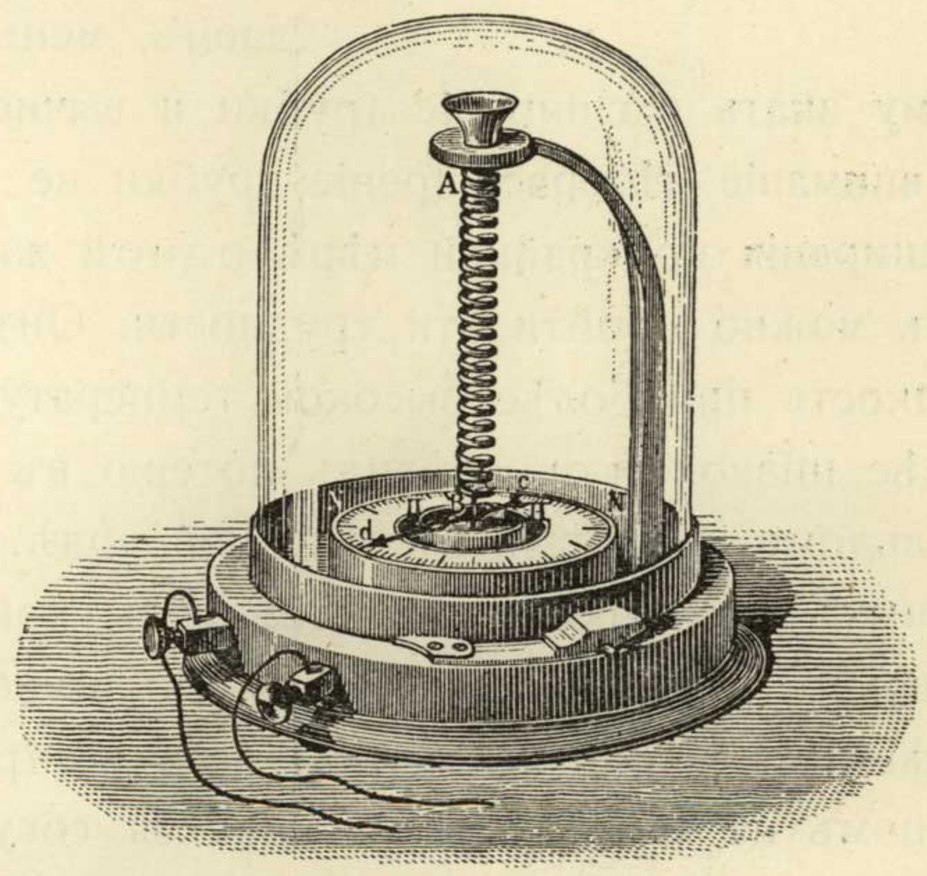
30. На неодинаковомъ расширеніи металловъ основано устройство металлическаго термометра, изобрѣтеннаго въ началѣ XIX вѣка Урбаномъ Іёргенсеномъ, часовщикомъ въ Копенгагенѣ. Такой термометръ (рис. 32) въ существенномъ состоитъ изъ такъ называемой компенсаціонной ленты, т. е. изъ ленты, изогнутой въ видѣ круга, составленной изъ двухъ металловъ, напримѣръ, мѣди и стали (мѣдь съ внутренней стороны). На одномъ концѣ *f* она закрѣплена, а другимъ концомъ давитъ на короткое плечо рычага, вращающагося вокругъ оси *o*. При повышеніи температуры лента слегка распрямляется, такъ какъ мѣдь расширяется сильнѣе стали, и

Рис. 32



Металлическій термометръ.

Рис. 33



Металлическій термометръ Бреге.

короткое плечо рычага движется налѣво. При пониженіи температуры лента немного закручивается и давленіе на плечо рычага ослабѣваетъ. При помощи зубчатой дуги *cd* и маленькаго зубчатаго колеса движеніе рычага передается оси и связанной съ нею стрѣлкѣ. Дѣленія, по которымъ стрѣлка указываетъ температуру, какъ стрѣлка часовъ указываетъ время, наносятся по сравненію съ ртутнымъ термометромъ.

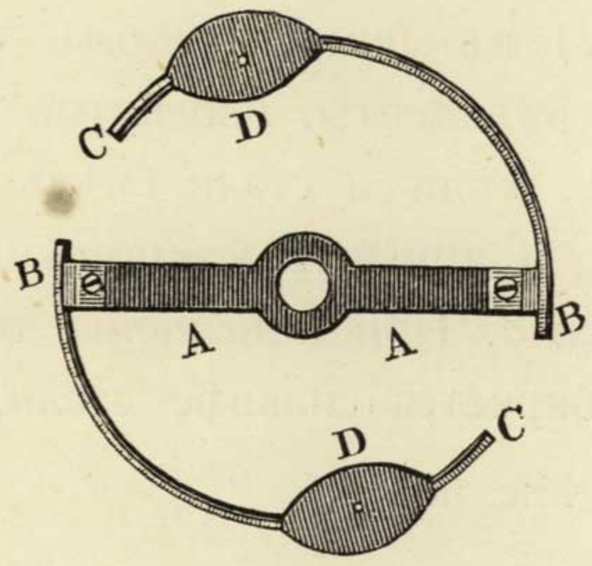
Очень чувствительные металлическіе термометры были приготовлены французскимъ механикомъ Бреге (1748—1823). Употреблявшіяся имъ компенсаціонныя ленты были составлены изъ трехъ различныхъ металловъ: серебра, золота и платины. Прокатанная между вальцами лента изъ этихъ металловъ, спаянныхъ другъ съ другомъ, сворачивается въ видѣ винтовой спирали, верхній конецъ ея закрѣпляется, а нижній снабжается легкой стрѣлкой, движущейся по кругу съ дѣленіями (рис. 33), по которымъ можетъ

http://mathesis.ru

быть отсчитана температура. Эти термометры очень чувствительны, но легко портятся. Видные на рисункѣ зажимы служатъ для включенія спирали въ цѣпь слабаго электрическаго тока, сила котораго можетъ быть измѣрена развиваемой имъ теплотой.

Для того чтобы сдѣлать балансиръ хронометра нечувствительнымъ къ вліянію температуры, ему сообщаютъ устройство, изображенное на рис. 34. Окружность балансира прорѣзана въ двухъ противоположныхъ мѣстахъ, а дугообразныя плечи балансира составляются изъ двухъ различныхъ металловъ, изъ которыхъ внѣшній расширяется сильнѣе внутренняго. При повышеніи температуры поперечникъ BB удлиняется. Это удлиненіе должно было бы повлечь за собой замедленіе движенія. Но оно устраняется тѣмъ, что дугообразныя плечи вслѣдствіе неодинаковаго расширенія изгибаются немного сильнѣе и приближаютъ массы D къ центру.

Рис. 34



Балансиръ хронометра.

31. Опредѣленіе расширенія жидкостей не очень просто, такъ какъ жидкости не имѣютъ самостоятельной формы. Если, напримѣръ, жидкость нагрѣвается въ термометрѣ, то мы видимъ не только расширеніе жидкостей, потому что трубка, въ которой жидкость содержится, также расширяется. Видимое расширеніе, которое мы наблюдаемъ, меньше истиннаго расширенія. Необходимо поэтому знать расширеніе трубки и вычислять расширеніе жидкости, уже принимая его во вниманіе. Но расширеніе трубки не можетъ быть опредѣлено, если мы не знаемъ расширенія по крайней мѣрѣ одной жидкости. Робертъ Гукъ (I, § 166) показалъ, какъ можно обойти эти трудности. Онъ воспользовался тѣмъ обстоятельствомъ, что жидкость при болѣе высокой температурѣ имѣетъ меньшій удѣльный вѣсъ, чѣмъ при болѣе низкой, и опредѣлилъ потерю въ вѣсѣ желѣзнаго шара сначала въ смѣси воды со льдомъ, а затѣмъ въ кипящей водѣ. Отсюда можно вывести отношеніе объемовъ равныхъ вѣсовыхъ количествъ воды при двухъ различныхъ температурахъ, а слѣдовательно, и расширеніе воды. Во всякомъ случаѣ при этомъ опытѣ должно быть извѣстно расширеніе желѣза, чего не требуется при способѣ Дюлонга и Пти, основанномъ на законѣ сообщающихся сосудовъ. На рис. 35 изображенъ приборъ, которымъ пользовались упомянутые физики для опредѣленія расширенія ртути. Трубки A и C соединяются болѣе узкой трубкой B. Трубка A окружается горячимъ масломъ, температура котораго опредѣляется по воздушному термометру GS. Трубка же C окружена тающимъ льдомъ. Обѣ трубки содержатъ ртуть, которая въ A стоитъ выше, чѣмъ въ C, такъ какъ теплая ртуть легче холодной. Высоты ртутныхъ столбовъ въ A и C точно измѣряются. Отсюда путемъ простыхъ вычисленій можно опредѣлить расширеніе ртути [1]). Ртуть при нагрѣваніи на 1^0 расширяется почти на $^1/_{5550}$ своего объема. До 100^0 ея расширеніе происходитъ вполнѣ равномѣрно. Поэтому ртуть является весьма подходящей жидкостью для термометровъ.

---

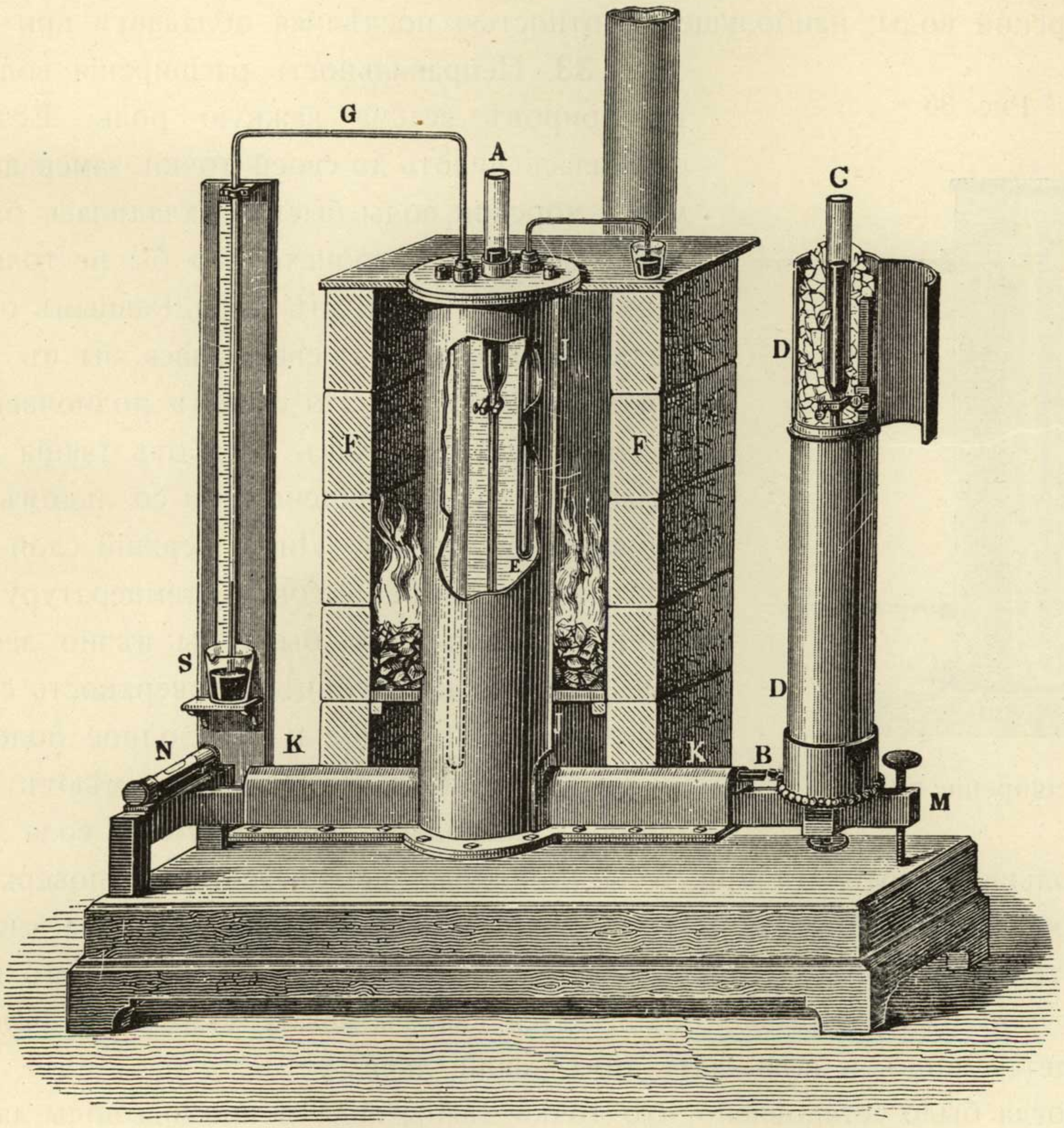
[1]) Если обозначить высоты столбовъ ртути въ A и C черезъ H и H_1, удѣльные вѣса теплой и холодной ртути черезъ d и d_1, то будемъ имѣть: $H:H_1=d_1:d$. Если, далѣе, обозначить объемы одинаковыхъ по вѣсу количествъ теплой и холодной ртути черезъ v и v_1, то получимъ $v:v_1=d_1:d$. Отсюда слѣдуетъ, что $H:H_1=v:v_1$.

http://mathesis.ru

32. Особый интересъ представляетъ расширеніе воды, являющееся исключеніемъ изъ общаго закона расширенія тѣлъ.

Уже члены Accademia del Cimento обратили вниманіе на то обстоятельство, что вода, будучи нагрѣта выше точки замерзанія, не расширяется, а сжимается. Они наблюдали это явленіе въ термометрической трубкѣ, наполненной водой. Такъ какъ имъ казалось невѣроятнымъ, чтобы вода дѣйствительно сжималась при нагрѣваніи, то для объясненія этого явленія они допускали, что вблизи точки замерзанія стекло

Рис. 35



Опредѣленіе расширенія ртути.

расширяется сильнѣе, чѣмъ вода, и это объясненіе держалось свыше ста лѣтъ. Лишь въ 1776 году Делюкъ обратилъ вниманіе на то, что вода дѣйствительно обладаетъ наибольшей плотностью приблизительно при 4^0 С.

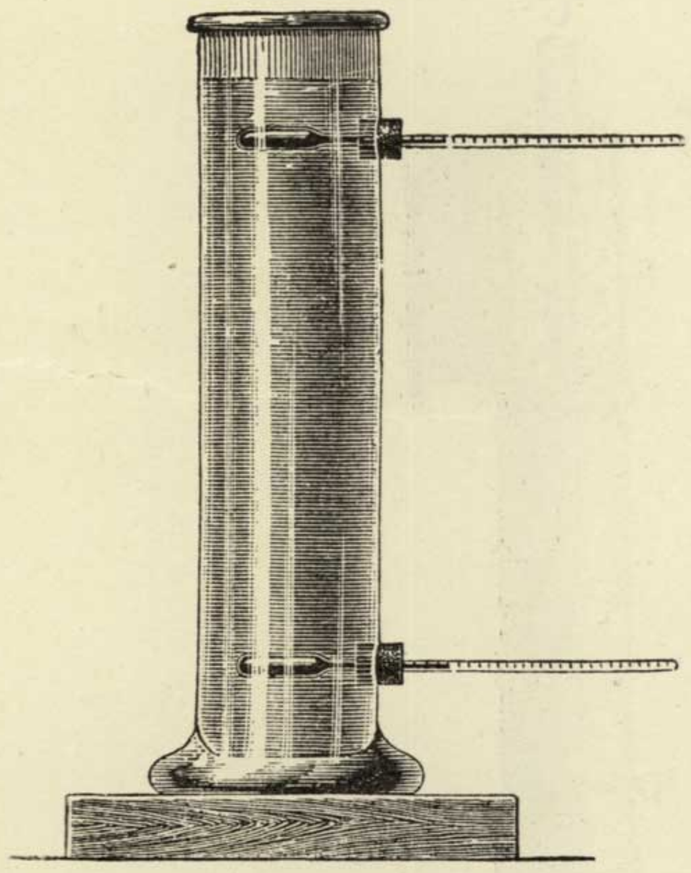
Слѣдующій опытъ даетъ возможность опредѣлить температуру наибольшей плотности воды; этотъ опытъ былъ впервые произведенъ приблизительно одновременно графомъ Румфордомъ и И. Г. Траллесомъ (1763—1822), профессоромъ физики въ Берлинѣ. Цилиндрическій сосудъ, въ стѣнку котораго вставлены два термометра вверху и внизу, наполняютъ водою и охлаждаютъ до 0^0, непрерывно слѣдя за обоими термометрами (рис. 36). Охлаждаясь, вода вначалѣ сжимается. Болѣе холодная вода есть вмѣстѣ съ тѣмъ и болѣе тяжелая, вслѣдствіе чего она опускается внизъ,

http://matesis.ru

въ то же время болѣе теплая и болѣе легкая вода поднимается вверхъ. Такимъ образомъ, верхній термометръ показываетъ болѣе высокую температуру, чѣмъ нижній. Когда вода достигаетъ своей наибольшей плотности, оба термометра показываютъ одну и ту же температуру, когда же она опускается ниже этой температуры, т. е. когда наибольшей плотностью обладаетъ уже не самая холодная вода въ сосудѣ, а болѣе теплая, то нижній термометръ показываетъ болѣе высокую температуру, чѣмъ верхній. Та температура, которую показываютъ оба термометра одновременно, т. е. температура наибольшей плотности воды, есть 4^0 С.

Такое же уклоненіе наблюдается также и у водныхъ растворовъ солей, напримѣръ, у морской воды; наибольшей плотностью послѣдняя обладаетъ при $-3{\cdot}5^0$ С.

Рис. 36



Расширеніе воды.

33. Неправильность расширенія воды играетъ въ природѣ весьма важную роль. Еслибы вода сжималась вплоть до своей точки замерзанія, то вся масса морской воды быстро охладилась бы до 0^0 и образованіе льда происходило бы не только на поверхности, но и на днѣ моря. Равнымъ образомъ и подпочвенная вода превращалась бы въ ледъ глубоко подъ землею. Но лѣтомъ подпочвенный ледъ не таялъ бы, такъ какъ вода отъ таянія льда оставалась бы въ соприкосновеніи со льдомъ и не поднималась бы кверху. Лишь верхній слой воды пріобрѣлъ бы болѣе высокую температуру. При такихъ условіяхъ моря были бы вѣчно замерзшими, какъ и почва на глубинѣ, а поверхность суши представляла бы холодное и безплодное болото.

Эти условія, однако, не имѣютъ мѣста въ природѣ благодаря лишь тому, что вода достигаетъ своей наибольшей плотности при 4^0 С. Холодная вода остается на поверхности,—и даже въ томъ случаѣ, когда образуется толстая ледяная кора, эта кора быстро таетъ отъ лѣтней теплоты. Дѣйствительно, какъ только ледъ покрывается слоемъ воды, вода съ температурой 0^0 непрерывно поднимается вверхъ, между тѣмъ какъ болѣе теплая вода опускается внизъ и вызываетъ тамъ таяніе льда.

34. Когда было установлено, что точки таянія льда и кипѣнія воды даютъ опредѣленные градусы шкалы, обратились къ точному изслѣдованію того, что̀ происходитъ съ воздухомъ при его нагрѣваніи.

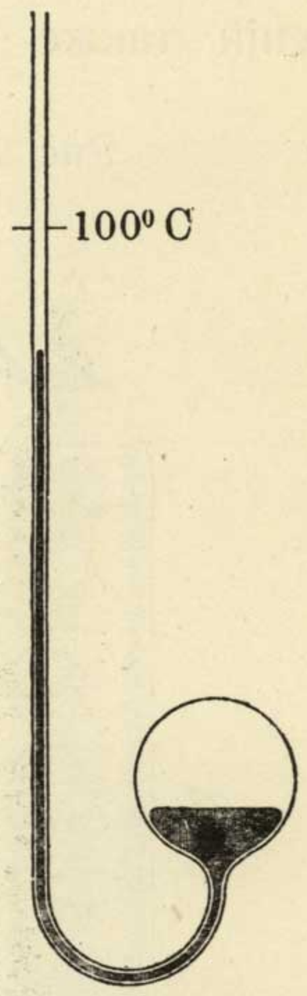
Такъ Гильомъ Амонтонъ (1663—1705) изслѣдовалъ, какъ увеличивается сила расширенія воздуха (упругость), когда его нагрѣваютъ. Отдѣливъ въ стеклянномъ шарѣ при помощи ртути извѣстное количество воздуха, онъ погрузилъ этотъ шаръ въ кипящую воду. Воздухъ расширился, вслѣдствіе чего ртуть поднялась въ узкой трубкѣ (рис. 37). Столбъ ртути своимъ давленіемъ оказываетъ значительное противодѣйствіе расширенію воздуха. Если шаръ великъ, а трубка узка, то объемъ воздуха увеличится не на много. Въ этомъ случаѣ теплота вызываетъ лишь увеличеніе упругости воздуха.

Амонтонъ пользовался этимъ приборомъ, какъ термометромъ, причемъ высота столба ртути въ трубкѣ служила мѣрой температуры воздуха въ шарѣ. Слѣ-

http://mathesis.ru

дуетъ, конечно, при этомъ имѣть въ виду и высоту барометра. Амонтонъ нашелъ, что давленіе воздуха увеличивается на одну треть, если вынуть шаръ изъ тающаго льда и погрузить его въ кипятокъ. Далѣе, онъ нашелъ, что давленіе воздуха равномѣрно увеличивается вмѣстѣ съ температурой. Точныя измѣренія, произведенныя съ того времени различными физиками, показали, что на каждый градусъ Цельзія давленіе закрытаго воздуха увеличивается на $^1/_{273}$ часть его давленія при 0^0, т. е. если нагрѣть воздухъ отъ 0^0 до 273^0, то его давленіе удвоится.

Рис. 37



Воздушный термометръ Амонтона.

35. Вопросъ о томъ, насколько расширится воздухъ, если нагрѣвать его, оставляя при этомъ безъ измѣненія его давленіе, разрѣшается слѣдующимъ образомъ. По закону Бойля (I, § 259), объемъ даннаго количества воздуха обратно пропорціоналенъ его давленію. А такъ какъ отдѣленный воздухъ при постоянномъ объемѣ пріобрѣтаетъ при нагрѣваніи отъ 0^0 до 273^0 двойное давленіе, то при возстановленіи первоначальнаго давленія онъ долженъ занять вдвое бо̀льшій объемъ. Слѣдовательно, при нагрѣваніи до 273^0 C воздухъ долженъ занять вдвое бо́льшій объемъ, если его давленіе остается неизмѣннымъ. Вслѣдствіе того, что расширеніе происходитъ равномѣрно, воздухъ при нагрѣваніи на каждый градусъ расширяется на $^1/_{273}$ часть своего объема при 0^0. Въ то время какъ твердыя и жидкія тѣла при одномъ и томъ же нагрѣваніи расширяются въ различной степени, газообразныя тѣла при одномъ и томъ же нагрѣваніи расширяются всѣ одинаково, т. е. у всѣхъ у нихъ одинъ и тотъ же коэффиціентъ расширенія ($^1/_{273}$). Закон Гей-Люссака ср § 342)

36. Въ „Saggi“ изображенъ родъ термоскопа; этотъ аппаратъ, показывающій измѣненія температуры, былъ присланъ нѣмецкому іезуиту Аѳанасію Кирхеру великимъ герцогомъ Фердинандомъ II. Приборъ состоялъ изъ стеклянной трубки (рис. 38), которая была наполнена водой почти доверху. Въ водѣ находилось нѣсколько маленькихъ грушевидныхъ скляночекъ съ оттянутыми внизъ горлышками. Эти склянки были наполнены водой не до самаго верха, а заключали въ себѣ пузырекъ воздуха, величина котораго была разсчитана, такъ что при опредѣленной температурѣ—около 15^0—склянки плавали внутри воды. При болѣе высокой температурѣ воздухъ въ нихъ расширялся и вытѣснялъ нѣкоторое количество воды изъ каждой склянки, вслѣдствіе чего она поднималась вверхъ на поверхность воды. Когда же, напротивъ, температура опускалась ниже 15^0, то воздухъ сжимался и склянки опускались на дно трубки.—Одновременно съ этимъ приборомъ Кирхеромъ былъ полученъ и другой, весьма сходный съ первымъ, но отличавшійся отъ него тѣмъ, что онъ былъ совершенно наполненъ водой и запаянъ. Въ этомъ приборѣ со склянками дѣло обстояло наоборотъ, т. е. онѣ опускались, когда вода становилась теплѣе, и подымались, когда она охлаждалась.

Великій герцогъ предоставилъ Кирхеру самому объяснить это явленіе. Приборъ являлся, такимъ образомъ, какъ бы загадкой, которую Кирхеръ долженъ былъ разгадать, что ему и удалось. Пусть читатель попробуетъ, не удастся ли разгадать эту загадку и ему.

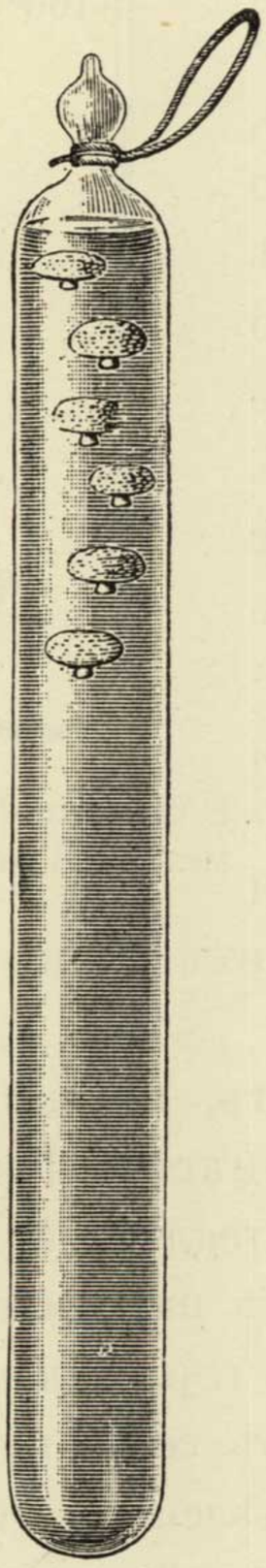
37. Рис. 39 представляетъ изображеніе, относящееся къ XVII столѣтію, на ко-

http://mathesis.ru

торомъ показано, какимъ образомъ пытались тогда использовать токъ воздуха, производимый теплотой. Подъ длинной вертикальной трубой горитъ огонь. Теплый и легкій воздухъ поднимается по трубкѣ вверхъ и приводитъ въ движеніе колесо *K*. Большая скорость этого колеса при помощи зубчатыхъ колесъ преобразовывается въ медленное движеніе, съ большой силой вращающее машину съ вальцами.

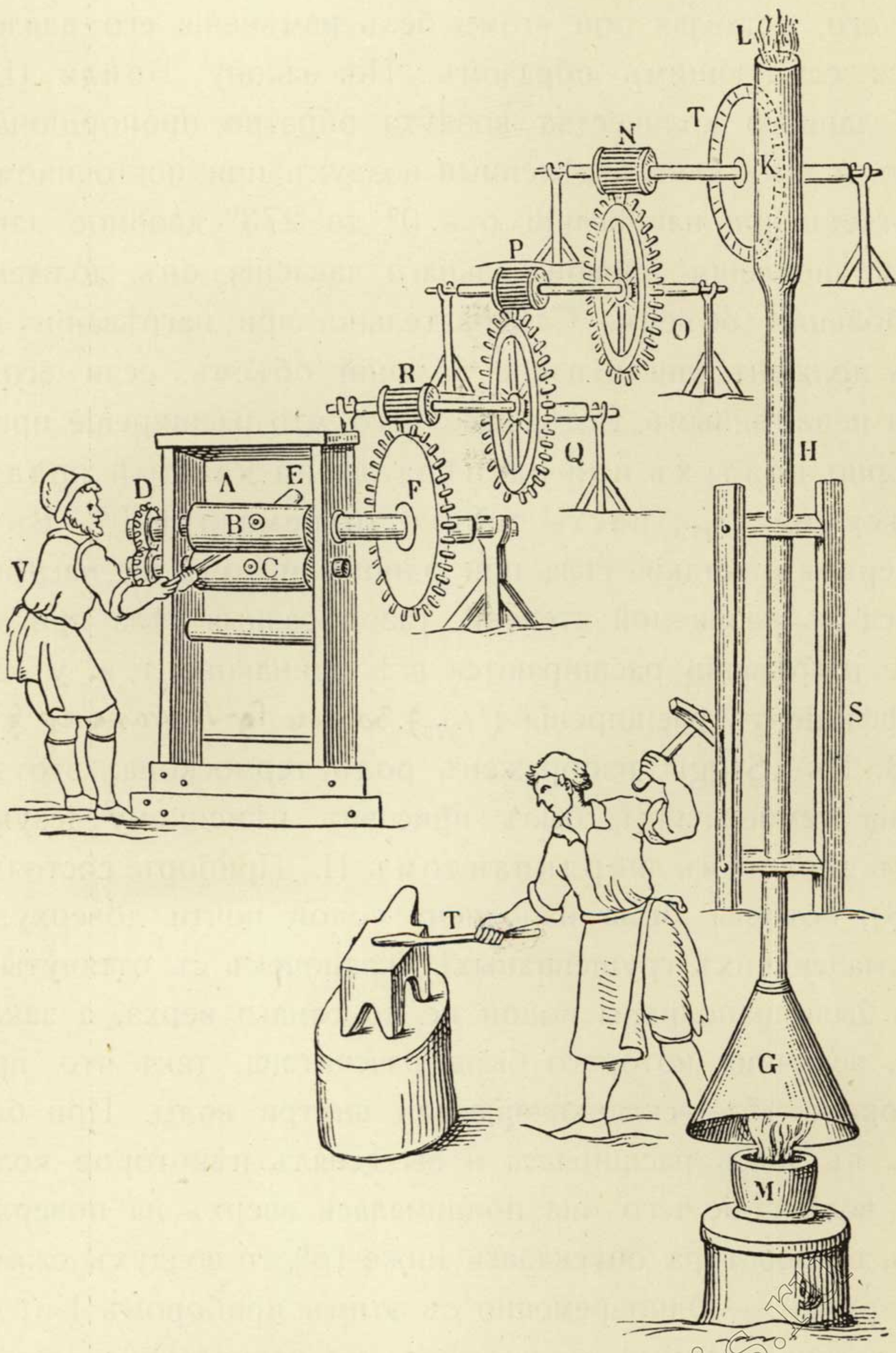
Тяга въ дымовыхъ трубахъ, а равно и согрѣваніе и вентиляція жилыхъ помѣщеній также обусловлены теченіемъ воздуха, вызываемымъ теплотой. Чѣмъ выше

Рис. 38



Флорентійскій термоскопъ.

Рис. 39



Воздушная тяга, производимая теплотой (изображеніе относится къ 1629 г.).

дымовая труба, тѣмъ сильнѣе въ ней тяга, тѣмъ именно длиннѣе теплый и легкій столбъ воздуха, гонимый вверхъ избыткомъ вѣса столь же длиннаго, но болѣе тяжелаго воздушнаго столба внѣ трубки.

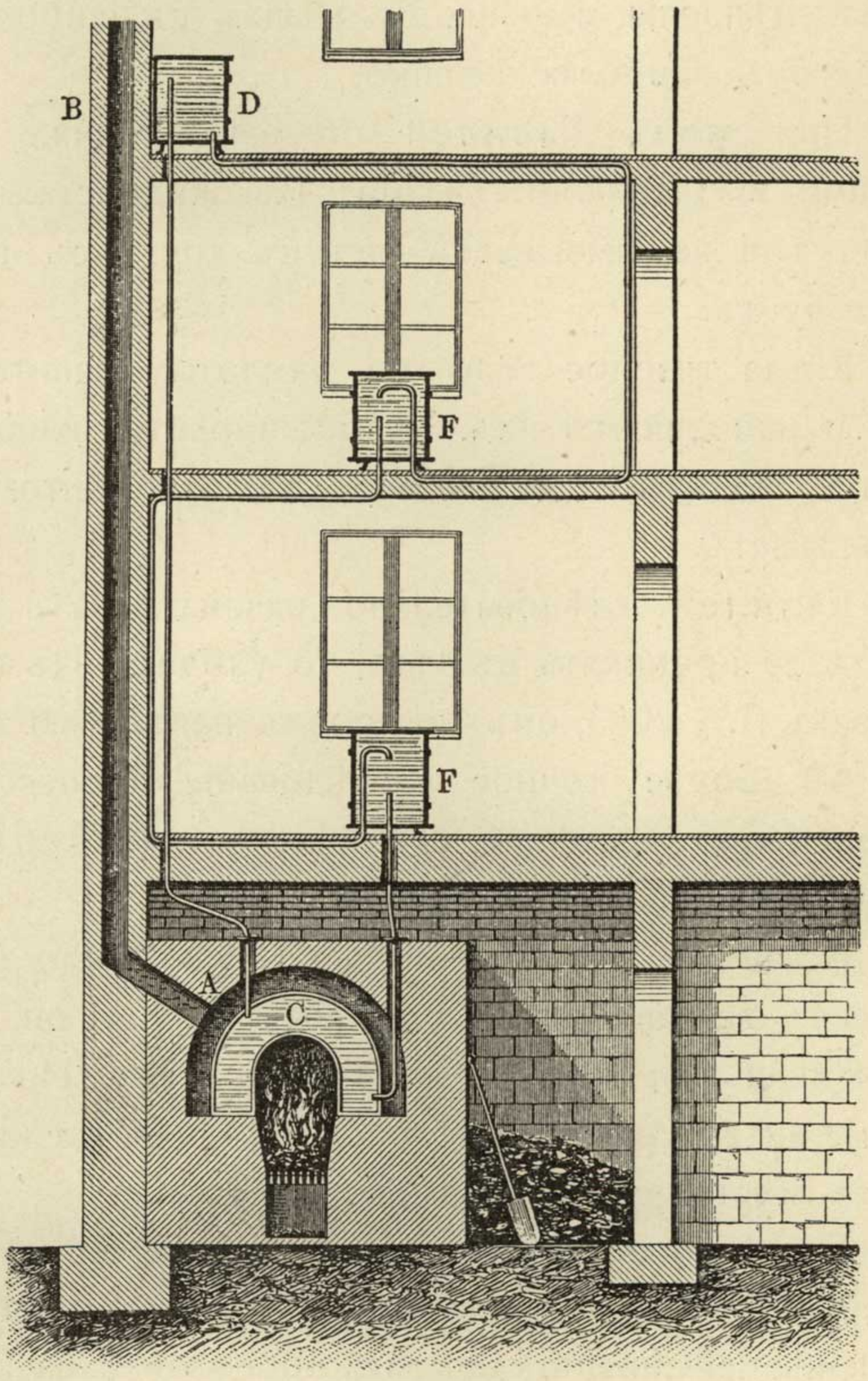
Воздухъ въ комнатахъ согрѣвается тѣмъ, что холодный воздухъ стремится къ печи, между тѣмъ какъ теплый удаляется отъ нея. Вентиляція, имѣющая цѣлью доставлять комнатѣ свѣжій воздухъ, состоитъ въ томъ, что теплый воздухъ, уже слу-

http://mathesis.ru/

жившій для дыханія, удаляется при помощи отдушинъ вблизи потолка, между тѣмъ какъ свѣжій воздухъ входитъ въ комнату черезъ отверстія вблизи пола. Если есть надобность въ болѣе сильной вентиляціи, то отдушина, черезъ которую удаляется теплый использованный воздухъ, соединяется съ печной трубой.

Совершенно подобнымъ образомъ возникаютъ теченія и въ водѣ, когда различныя части ея неодинаково нагрѣты. На этомъ основано такъ называемое водяное отопленіе. На рис. 40 *C* представляетъ желѣзный котелъ, въ которомъ нагрѣвается вода. Отъ дна котла идетъ труба въ закрытый резервуаръ *F* въ первомъ этажѣ, отсюда въ закрытый резервуаръ *F* во второмъ этажѣ, отсюда въ резервуаръ *D* въ верхнемъ этажѣ. Отъ верхняго резервуара проведена обратно въ котелъ труба, которая входитъ въ его верхнюю часть. Трубы, резервуары и котелъ наполнены водой; въ *D* оставляютъ мѣсто для расширенія, которое можетъ испытывать вода отъ нагрѣванія. Если теперь нагрѣвать воду въ котлѣ, то теплая вода устремится въ верхній этажъ; оттуда она пойдетъ черезъ *F,F* обратно въ котелъ; здѣсь она опять нагрѣется и т. д. О воздушныхъ теченіяхъ въ атмосферѣ и о теченіяхъ воды въ моряхъ будетъ сказано ниже (въ отдѣлѣ метеорологіи).

Рис. 40



Водяное отопленіе.

38. Какъ уже было указано выше, древніе народы были знакомы съ выплавливаніемъ металловъ и производствомъ стекла. Они, слѣдовательно, знали, что твердыя тѣла отъ теплоты плавятся, т. е. становятся жидкими, а также, что жидкіе (расплавленные) металлы при охлажденіи отвердѣваютъ, и умѣли пользоваться этимъ при указанныхъ производствахъ. Плавильное дѣло играло большую роль во всей ихъ культурѣ.

Въ древности по всей вѣроятности считали, что плавленіе происходитъ оттого, что огонь (теплота) проникаетъ въ твердыя тѣла. Геронъ (I, § 209) утверждаетъ, что алмазъ не можетъ быть накаленъ по той причинѣ, что частицы огня слишкомъ велики, чтобы проникнуть въ его поры. Напротивъ, поры металловъ больше и огонь можетъ проникнуть въ нихъ, накаливая металлъ. А когда жаръ достигаетъ достаточной степени, то металлы плавятся.

39. Галилей на основаніи изученія Аристотеля и Герона усвоилъ себѣ

http://mathesis.ru

такой же взглядъ на процессъ плавленія. Аристотель учитъ, что сила сцѣпленія тѣлъ объясняется тѣмъ, что природа боится пустоты (horror vacui). Дѣйствительно, если тѣло распадается на части, то въ первое мгновеніе должна возникнуть пустота, природа же мѣшаетъ этому.—Галилей принялъ эту мысль и развилъ ее дальше. Онъ зналъ, что сила сцѣпленія неодинакова у различныхъ тѣлъ; а такъ какъ онъ долженъ былъ принять, что horror vacui долженъ вліять одинаково на всѣ тѣла, то отсюда онъ заключилъ, что неодинаковое сцѣпленіе обусловливается неодинаковостью поръ тѣлъ. Если поры велики и если, слѣдовательно, при распадѣ тѣла образуется бо̀льшая пустота, то сила сцѣпленія тоже велика. Если же, напротивъ, поры малы, то и horror vacui также имѣетъ мало возможности проявиться замѣтнымъ образомъ, и сила сцѣпленія меньше. Въ тѣлахъ съ наибольшими порами частицы связаны другъ съ другомъ наиболѣе крѣпко.

При этомъ Галилей объяснилъ также, въ чемъ заключается разница между жидкими и твердыми тѣлами. Въ жидкостяхъ поры заполнены. Вслѣдствіе этого horror vacui не связываетъ частицъ другъ съ другомъ и сцѣпленіе, такимъ образомъ, отсутствуетъ.

Когда твердое тѣло отъ теплоты плавится, то частицы тепла проникаютъ въ поры и наполняютъ ихъ. Тѣло становится жидкимъ. Когда расплавленное тѣло охлаждается, то изъ него уходитъ теплота, horror vacui вступаетъ въ дѣйствіе и тѣло отвердѣваетъ.

Галилей, слѣдовательно, разсматривалъ теплоту, какъ нѣчто матеріальное, что можетъ то проникать въ тѣла, то уходить изъ нихъ; и, основываясь на ученіи Герона о порахъ (I, § 209), онъ построилъ наглядную теорію явленій плавленія и застыванія.

40. Болѣе точное изслѣдованіе процесса плавленія было предпринято почти одновременно Accademia del Cimento и Робертомъ Бойлемъ. Эти изслѣдованія касались таянія льда и замерзанія воды.

Accademia del Cimento, какъ уже было упомянуто (§ 21), замѣтила, что тающій ледъ всегда имѣетъ одну и ту же степень тепла, которую мы называемъ точкой таянія льда или точкой замерзанія воды. Но Accademia del Cimento и Робертъ Бойль интересовались не постоянствомъ точки замерзанія, а расширеніемъ, которое имѣетъ мѣсто при замерзаніи воды.

Галилей обратилъ вниманіе на то, что ледъ легче воды, такъ какъ онъ плаваетъ въ ней. Отсюда слѣдуетъ, что фунтъ воды занимаетъ меньше мѣста, чѣмъ фунтъ льда. Accademia del Cimento старалась опредѣлить, насколько расширяется вода при замерзаніи.

Трубка, одинъ конецъ которой закрытъ, наполняется водой и замораживается. При этомъ изъ открытаго конца трубки выступаетъ ледяная сосулька. Путемъ взвѣшиванія этой сосульки и сравненія ея вѣса съ вѣсомъ воды, первоначально находившейся въ трубкѣ, члены Академіи нашли, что трубка можетъ содержать въ видѣ льда лишь $^{8}/_{9}$ воды. Восемь фунтовъ льда занимаютъ тотъ же объемъ, что и девять фунтовъ воды, т. е. удѣльный вѣсъ льда составляетъ $^{8}/_{9}$. Болѣе точныя позднѣйшія измѣренія показали, что удѣльный вѣсъ льда нѣсколько больше, именно приблизительно $^{9}/_{10}$. Поэтому плавающая въ водѣ ледяная гора (айсбергъ) имѣетъ внѣ воды $^{1}/_{10}$ своего вѣса, остальныя же $^{9}/_{10}$ ея находятся подъ водой. Такимъ образомъ, цилиндрическая ледяная гора, которая поднимается надъ водой на 50 *м*, подъ поверхностью воды должна идти на 450 *м*. Обыкновенно, нижняя часть горы бываетъ шире,

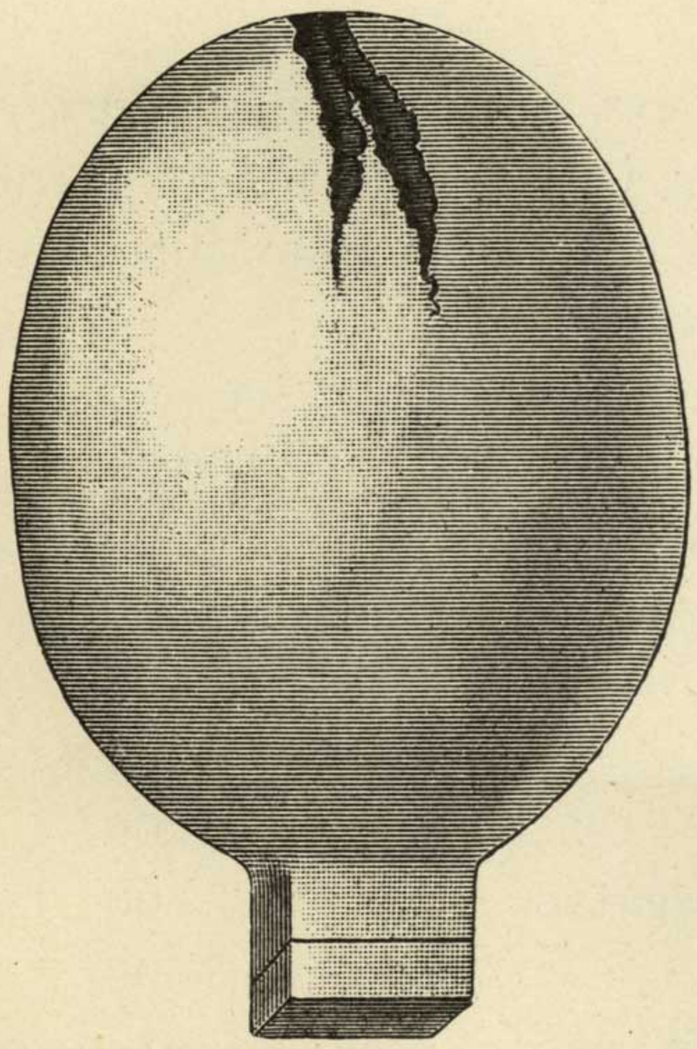
http://mathesis.ru

чѣмъ верхняя; поэтому принимаютъ, что подъ воду айсбергъ уходитъ въ среднемъ въ пять разъ больше, чѣмъ на свою высоту надъ водой.

41. Расширеніе воды при замерзаніи происходитъ съ чрезвычайной силой. Accademia del Cimento показала это слѣдующимъ образомъ. Крѣпкій металлическій сосудъ, родъ гранаты (рис. 41 и 42), наполнялся водой при 0^0, которую затѣмъ замораживали. Какъ бы крѣпокъ ни былъ сосудъ, ледъ разрывалъ его.

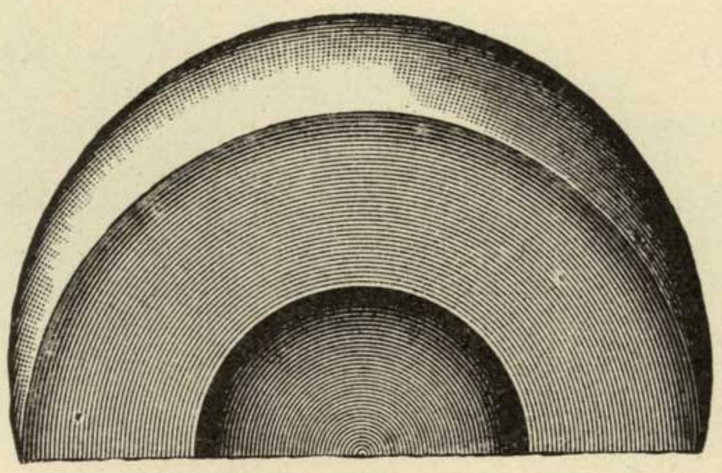
Въ природѣ подобныя же явленія совершаются въ большихъ размѣрахъ. Осенью вода наполняетъ щели въ скалахъ и при замерзаніи зимою она расширяется съ такой силой, что горныя породы растрескиваются. То же имѣетъ мѣсто и во влажныхъ каменныхъ стѣнахъ. Вода въ скважинахъ камня замерзаетъ, и камень отъ этого трескается. Расширеніе воды при замерзаніи играетъ большую роль въ земледѣліи. Вспаханное поле предъ наступленіемъ зимы покрывается сѣтью бороздъ, которыя наполняются водою. Въ мо-

Рис. 41



Опытъ Accademia del Cimento съ замораживаніемъ воды.

Рис. 42



Сосудъ рис. 41 въ разрѣзѣ.

розъ вода въ бороздахъ замерзаетъ; расширяясь при этомъ, она взрыхляетъ пашню. Благодаря этому весною пашня получаетъ надлежащій видъ для посѣва.

42. Робертъ Бойль производилъ почти тѣ же самые опыты, что и Accademia del Cimento, но одновременно съ этимъ онъ занимался изслѣдованіемъ того, всѣ ли жидкости отвердѣваютъ отъ холода подобно водѣ. Онъ нашелъ, что нѣкоторыя жидкости, напримѣръ, спиртъ и кислоты, не замерзаютъ въ самый сильный холодъ, какой только онъ могъ получить при помощи своихъ охладительныхъ смѣсей.

Полученіе искусственнаго холода было извѣстно уже Делла Портѣ въ 1589 году. Онъ смѣшивалъ снѣгъ и селитру; они оказываютъ другъ на друга такое дѣйствіе, что смѣсь получается жидкой и въ то же время гораздо болѣе холодной, чѣмъ тающій ледъ. Accademia del Cimento пользовалась для опытовъ съ замораживаніемъ различными охладительными смѣсями, напримѣръ, смѣсью снѣга и поваренной соли или снѣга и спирта. Наиболѣе сильное дѣйствіе оказывали снѣгъ съ нашатыремъ. Этой смѣсью достигалась температура въ 5^0 по флорентійскому стоградусному термометру, который показывалъ 17^0 въ самый сильный зимній холодъ зимою и 80^0 въ самый сильный лѣтній зной на солнцѣ.

Бойлю также были извѣстны эти охладительныя смѣси. Онъ показалъ, что полученіе холода при смѣшиваніи соли и снѣга происходитъ отъ того, что оба вещества

http://mathesis.ru

становятся жидкими. Теплота требуется на то, чтобы растопить снѣгъ (должны быть заполнены поры снѣга) и чтобы превратить соль въ жидкость; эта теплота отнимается у самихъ снѣга и соли. А то обстоятельство, что смѣсь не замерзаетъ снова, несмотря на охлажденіе, объясняется тѣмъ, что получившійся растворъ соли имѣетъ очень низкую точку замерзанія.

Для того чтобы охладительная смѣсь оказывала сильное дѣйствіе, необходимо, чтобы снѣгъ и соль были смѣшаны въ опредѣленномъ отношеніи. Смѣшивая 100 частей снѣга съ 30 частями хлористаго калія или съ 25 частями нашатыря или съ 33 частями поваренной соли, можно получить температуры въ — 10·9°, — 15·4° и — 21·3° С. Болѣе сильное охлажденіе (— 35° С) можетъ быть достигнуто путемъ обливанія снѣга соляной кислотой.

43. Чѣмъ больше совершенствовался съ теченіемъ времени термометръ, тѣмъ точнѣе опредѣлялись точки плавленія различныхъ тѣлъ. Обнаружилось, что почти всѣ тѣла, подобно льду, переходятъ въ жидкое состояніе при совершенно опредѣленной температурѣ, что всѣ они имѣютъ постоянную точку плавленія.

Въ слѣдующей таблицѣ показаны точки плавленія нѣкоторыхъ тѣлъ:

ртуть . . .	— 39° С	цинкъ . . .	+ 420° С
ледъ . . .	0	алюминій . . .	700
сало . . .	+ 40	серебро . . .	1000
стеаринъ . . .	46	мѣдь . . .	1100
воскъ . . .	68	золото . . .	1200
сѣра . . .	115	чугунъ . . .	1200
олово . . .	230	ковкое желѣзо . .	1600
свинецъ . . .	330	платина . .	(свыше) 1600

Нѣкоторыя изъ перечисленныхъ тѣлъ, напримѣръ, воскъ, ковкое желѣзо, равно какъ и стекло, переходятъ изъ твердаго въ жидкое состояніе постепенно, проходя при этомъ чрезъ состояніе вязкой жидкости.

Стекло и ковкое желѣзо въ этомъ состояніи могутъ легко принимать различныя формы, а два куска желѣза могутъ быть сварены (соединены).

Другія тѣла, какъ чугунъ, олово и пр. не проходятъ чрезъ такое промежуточное состояніе. Они переходятъ изъ жидкаго въ твердое состояніе непосредственно. Формовка такихъ тѣлъ возможна путемъ литья. Для устройства формъ для отливки чугунныхъ предметовъ служитъ смѣсь изъ песка и глины (формовочная глина).

44. Становится ли тѣло предварительно мягкимъ или же оно сразу переходитъ въ жидкое состояніе — безразлично —, и въ томъ и въ другомъ случаѣ оно испытываетъ измѣненіе; разъ достигнута точка плавленія, равновѣсіе нарушено и частицы располагаются инымъ образомъ. Соотвѣтственнымъ образомъ дѣло происходитъ и съ жидкостью при обычныхъ условіяхъ, т. е. при охлажденіи она либо сразу отвердѣваетъ, либо становится предварительно вязкой. Фаренгейтъ, однако, случайно замѣтилъ, что при извѣстныхъ условіяхъ вода можетъ быть охлаждаема далеко ниже 0°, оставаясь при этомъ жидкой. Онъ наполнилъ водою до половины стеклянный шаръ съ припаянной къ нему короткой трубкой; нагрѣвъ воду до кипѣнія, онъ запаялъ конецъ трубки. Этотъ шаръ онъ выставилъ на ночь на холодъ при температурѣ 15° Ф (около — 9·5° С) и утромъ увидѣлъ, что вода несмотря на низкую температуру осталась жидкой. Только тогда, когда онъ отломилъ конецъ трубки, часть воды

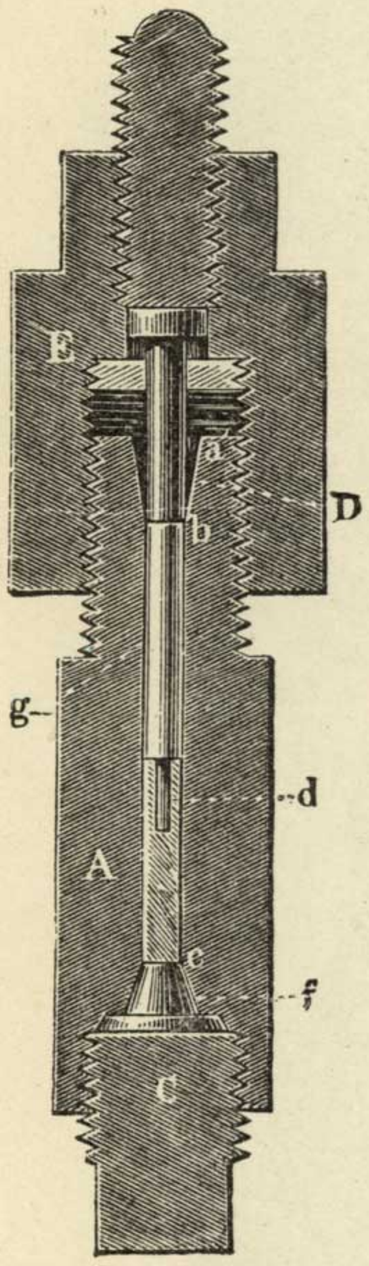
http://mathesis.ru

замерзла; Фаренгейтъ думалъ, что вода противостояла холоду по той причинѣ, что шаръ содержалъ не воздухъ, а лишь водяные пары. Однако, вскорѣ онъ убѣдился въ томъ, что въ соприкосновеніи съ воздухомъ вода тоже можетъ быть переохлаждена, если только она совершенно спокойна. Малѣйшее же движеніе, вообще говоря, вызываетъ въ этомъ случаѣ ея замерзаніе.—Позднѣе было найдено, что вода можетъ быть охлаждена безъ замерзанія даже до—20° С; другія жидкости, напримѣръ, расплавленная сѣра, также могутъ быть охлаждены ниже точки плавленія, не отвердѣвая при этомъ.

45. Говоря выше о томъ, что точка плавленія тѣла остается постоянной, мы при этомъ подразумѣвали, что плавленіе происходитъ при обыкновенномъ давленіи воздуха. Если же оно происходитъ подъ бо̀льшимъ давленіемъ, то точка плавленія измѣняется замѣтнымъ образомъ. Джэмсъ Томсонъ обратилъ вниманіе на этотъ фактъ въ 1849 году, а его братъ, знаменитый физикъ Вильямъ Томсонъ (лордъ Кельвинъ) доказалъ опытомъ, что точка таянія льда понижается при увеличеніи давленія. Онъ нашелъ, что подъ давленіемъ въ 8 атмосферъ вода замерзаетъ при температурѣ $^1/_{20}{}^0$ С ниже нуля, а подъ давленіемъ въ 17 атмосферъ—при температурѣ $^1/_2{}^0$ С ниже нуля.

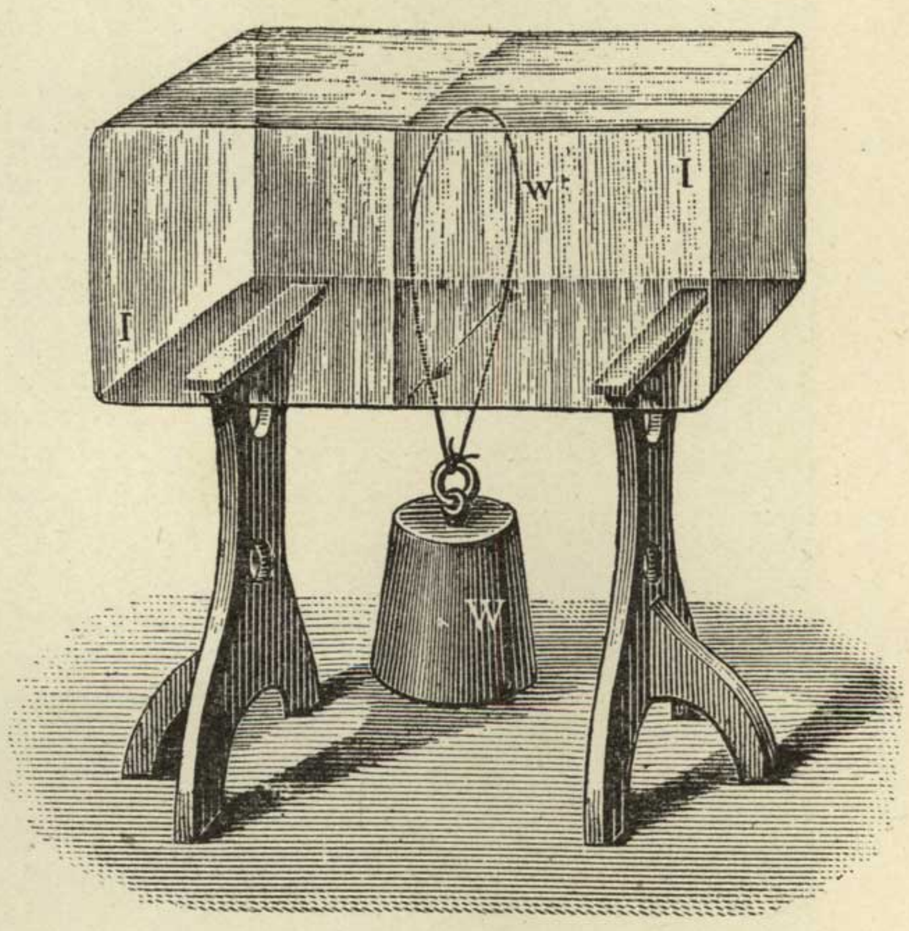
Съ значительно болѣе высокими давленіями экспериментировалъ въ 1858 году Муссонъ въ Женевѣ. Онъ замораживалъ воду въ прочной стальной трубкѣ и за-

Рис. 43



Плавленіе льда подъ давленіемъ.

Рис. 44



Зависимость точки плавленія отъ давленія.

тѣмъ производилъ сильное давленіе (приблизительно въ 13 000 атмосферъ) на ледъ посредствомъ ввинчиванія поршня (рис. 43). Между поршнемъ и льдомъ онъ помѣщалъ металлическій кружокъ; по окончаніи опыта оказывалось, что кружокъ находился на днѣ трубки. Иными словами, подъ большимъ давленіемъ ледъ обращался въ воду несмотря на то, что трубка оставалась въ охлаждающей смѣси съ температурой—20° С. Такой же опытъ можно выполнить, обернувъ вокругъ глыбы льда проволоку и привѣсивъ къ послѣдней грузъ (рис. 44). Если давленіе подъ проволокой достаточно велико, то ледъ таетъ и про-

http://mathesis.ru

волока проходитъ сквозь него. Несмотря на это льдина не разрѣзается, такъ какъ вода сейчасъ же замерзаетъ, какъ только она оказывается надъ проволокой.

46. Зависимостью точки таянія льда отъ давленія объясняется величественное явленіе природы, именно—образованіе глетчеровъ или ледниковъ, которые въ видѣ ледяныхъ потоковъ спускаются по скалистымъ ущельямъ изъ области вѣчнаго снѣга въ равнину (рис. 45). Чѣмъ больше снѣга накопляется на горахъ, тѣмъ сильнѣе давленіе,



Рис. 45. Ледникъ Mer de glace на Монбланѣ.

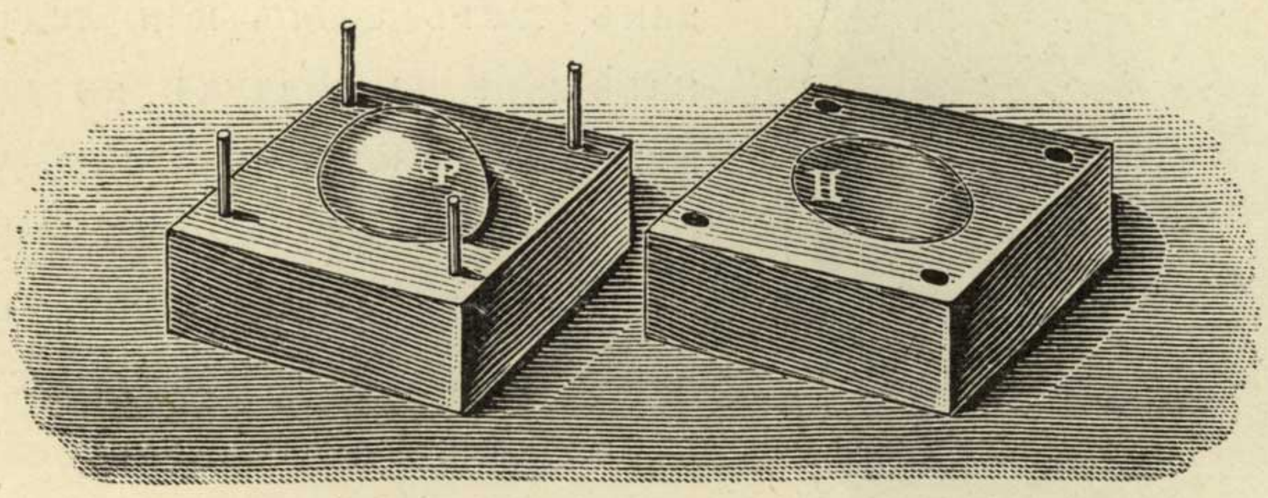
испытываемое нижними слоями. Послѣдніе въ концѣ концовъ подъ вліяніемъ давленія начинаютъ таять, но какъ только давленіе уменьшается, они тотчасъ же снова замерзаютъ. Однако, непрекращающееся давленіе сверху оказываетъ свое дѣйствіе: образовавшійся пластъ льда непрерывно подвигается впередъ, извиваясь при этомъ, подобно потоку, по расщелинамъ скалъ. Со льдомъ, находящимся подъ большимъ давленіемъ, дѣло

обстоитъ, какъ съ жидкостью: въ узкихъ мѣстахъ своего пути ледяной потокъ становится узкимъ, а въ широкихъ онъ снова расширяется. Дальнѣйшее сходство между водянымъ потокомъ и ледянымъ состоитъ въ томъ, что послѣдній въ серединѣ движется скорѣе, чѣмъ по краямъ. То же самое имѣетъ мѣсто и въ рѣкѣ: въ серединѣ теченіе быстрѣе, чѣмъ у береговъ и у дна, гдѣ скорость замедляется треніемъ о поверхность дна.

Англійскій физикъ Тиндалль (1820—1893) воспользовался „пластичностью“ льда для интереснаго опыта. Въ двухъ четыреугольныхъ деревянныхъ колодкахъ были сдѣланы углубленія въ видѣ полушарій (рис. 46). Наполнивъ ихъ кусками льда и затѣмъ сжавъ колодки при помощи гидравлическаго пресса, изъ кусковъ льда получали правильный шаръ.

Впрочемъ, далеко не у всѣхъ тѣлъ наблюдается пониженіе точки плавленія съ увеличеніемъ давленія. У многихъ тѣлъ имѣетъ мѣсто какъ разъ обратное явленіе.

Рис. 46



Опытъ Тиндалля съ кусками льда.

Повышеніе или пониженіе точки плавленія при увеличеніи давленія зависитъ отъ того, расширяется ли тѣло при плавленіи или сжимается. У тѣхъ тѣлъ, которыя при плавленіи расширяются (воскъ, стеаринъ, сѣра), точка плавленія съ увеличеніемъ давленія повышается, у тѣхъ же тѣлъ, которыя при плавленіи сжимаются (ледъ), точка плавленія съ увеличеніемъ давленія понижается.

47. Въ теченіе зимы 1754—1755 года французскій физикъ Делюкъ, о которомъ уже упоминалось, производилъ изслѣдованія надъ таяніемъ льда. Въ чашкѣ надъ огнемъ онъ нагрѣвалъ кусокъ льда съ вмерзшимъ въ него термометромъ. Температура льда, который былъ охлажденъ значительно ниже 0^0, поднималась до 0^0. При этой температурѣ ледъ начиналъ таять, но термометръ болѣе не поднимался до тѣхъ поръ, пока ледъ не таялъ совершенно. Такимъ образомъ, льду сообщалась теплота, а его температура оставалась неизмѣнной.

Делюкъ опубликовалъ свои наблюденія лишь въ 1772 году; тѣмъ временемъ его опередилъ Джозефъ Блэкъ (1757), сдѣлавшій гораздо болѣе обстоятельныя изслѣдованія относительно этого предмета.

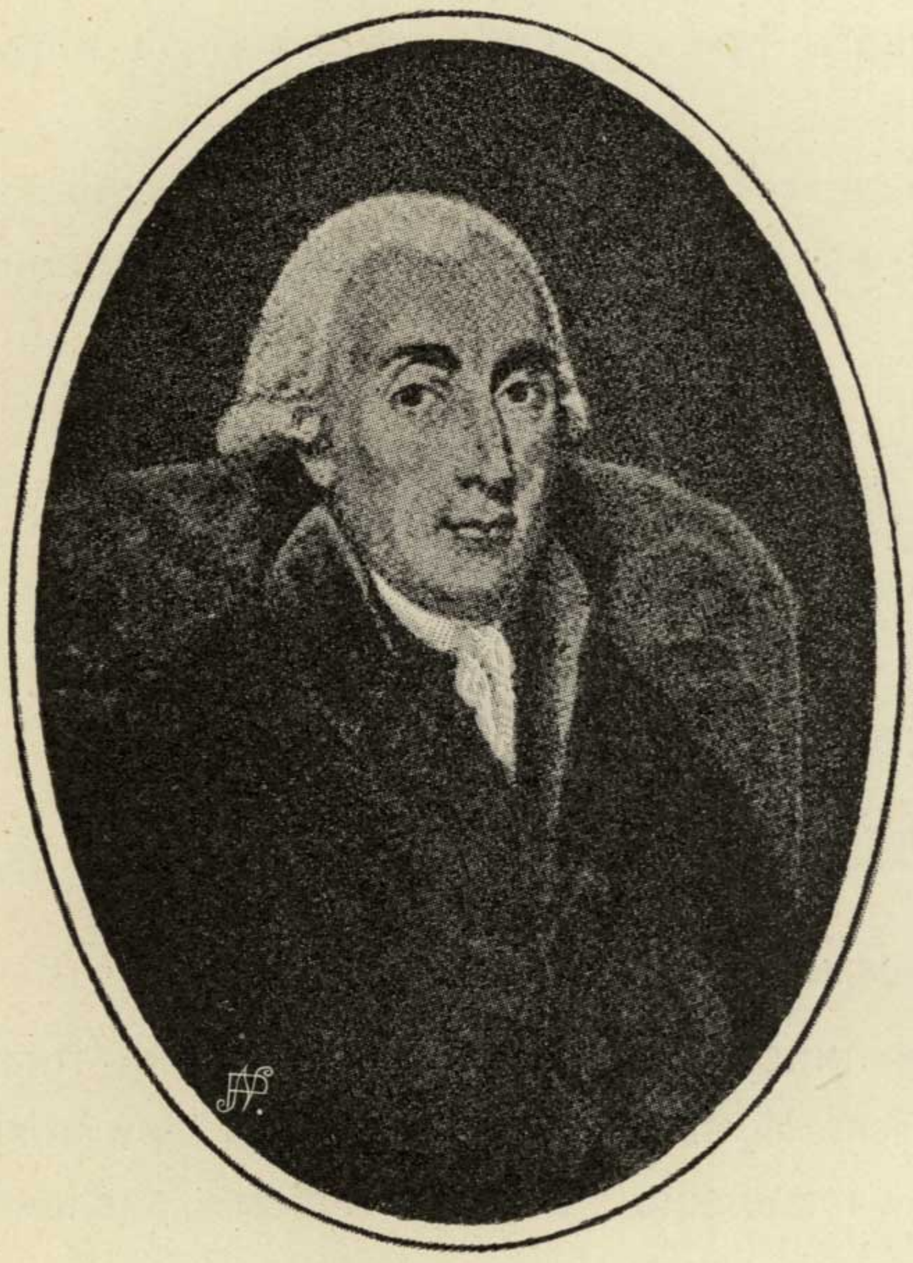
Джозефъ Блэкъ родился въ 1728 году въ Бордо, гдѣ его отецъ былъ купцомъ. Родители его были по происхожденію шотландцами. По этой причинѣ, когда для ихъ сына наступила пора посѣщать школу, они отправили его въ Англію. Въ 1746 году онъ поступилъ въ университетъ въ Глазго, гдѣ изучалъ медицину и химію, особенно интересуясь послѣдней. Его учителемъ химіи былъ знаменитый врачъ докторъ Кулленъ. Въ 1750 году Блэкъ отправился въ Эдинбургъ. Здѣсь онъ получилъ степень доктора благодаря тому именно труду, который

http://mathesis.ru

сдѣлалъ его имя широко популярнымъ. Уже въ 1756 году онъ, какъ преемникъ Куллена, сдѣлался профессоромъ химіи въ глазгоскомъ университетѣ, а позже—въ эдинбургскомъ. Блэкъ былъ слабаго тѣлосложенія, какъ это ясно видно по его портрету. Умеръ онъ въ возрастѣ 71 года.

Къ числу наиболѣе замѣчательныхъ его работъ принадлежатъ изслѣдованія надъ таяніемъ льда. Прежде всего онъ, подобно Делюку, обращаетъ вниманіе на то, что температура льда во время таянія остается неизмѣнной. Затѣмъ онъ вспоминаетъ распространенное мнѣніе о томъ, что для расплавленія какого-нибудь тѣла, напримѣръ, льда, потребно весьма незначительное количество тепла, разъ достигнута точка плавленія. Самъ Блэкъ былъ другого мнѣнія объ этомъ, что́ онъ ясно и опредѣленно высказалъ слѣдующимъ образомъ: „Если мы будемъ наблюдать, какъ таетъ снѣгъ или ледъ въ теплой комнатѣ или на воздухѣ во время оттепели, то мы легко замѣтимъ, что ледъ, какъ бы ни была низка его температура, быстро нагрѣвается до точки таянія, послѣ чего начинаетъ таять на поверхности. Еслибы было справедливо общепринятое мнѣніе, что ледъ, нагрѣтый до точки таянія, требуетъ для таянія крайне ничтожное количество тепла, то тогда вся масса льда должна была бы растаять въ нѣсколько минутъ или секундъ, такъ какъ теплота изъ воздуха непрерывно передается льду. Будь это въ дѣйствительности такъ, послѣдствія этого были бы часто ужасны, такъ какъ и при существующихъ обстоятельствахъ имѣютъ мѣсто большія наводненія и сильные потоки во время таянія большихъ массъ льда или снѣга“.

Рис. 47



Джозефъ Блэкъ.

48. То обстоятельство, что для плавленія необходимо извѣстное время, находитъ свое объясненіе, по мнѣнію Блэка, въ томъ, что при плавленіи тратится теплота. Количество затраченной теплоты онъ пытался опредѣлить слѣдующимъ образомъ. Въ теплой комнатѣ были поставлены двѣ одинаковыя склянки, изъ коихъ одна была наполнена льдомъ при 0^0, а другая водой такого же вѣса и также при 0^0. Блэкъ считалъ, что каждая изъ склянокъ получаетъ изъ воздуха одно и то же количество теплоты. Обнаружилось, что вода въ одной бутылочкѣ нагрѣвается до 4^0 въ теченіе четверти часа, между тѣмъ какъ на плавленіе льда въ другой склянкѣ ушло 20 четвертей часа. Другими словами, количество теплоты, которое необходимо, чтобы растопить 1 фунтъ льда, въ 20 разъ больше того количества тепла, которое нужно для нагрѣванія 1 ф. воды отъ 0^0 до 4^0. А такъ какъ для нагрѣванія 1 ф. воды до 4^0 требуется, очевидно, вчетверо больше тепла, чѣмъ для нагрѣванія этого же самаго количества воды на 1^0, то теплота плавленія для 1 фунта льда будетъ $20 \times 4 = 80$ единицъ тепла, если подъ единицей тепла (калоріей) разумѣть то количество теплоты, которое требуется, чтобы нагрѣть 1 фунтъ воды на 1^0 C.

http://mathesis.ru

„Указанная теплота (теплота плавленія)“, говоритъ Блэкъ, „идетъ исключительно на то, чтобы превратить ледъ въ воду, причемъ получившаяся вода не будетъ теплѣе, чѣмъ раньше былъ ледъ. Другими словами, тающему льду сообщается извѣстное количество тепла, которое уходитъ на то, чтобы привести его въ жидкое состояніе, не повышая его температуры. Теплота, такимъ образомъ, какъ бы поглощается водой или скрывается въ ней, такъ что не оказываетъ на термометръ никакого дѣйствія“.

Блэкъ опредѣлялъ теплоту плавленія льда еще и другимъ способомъ, который можетъ быть поясненъ слѣдующимъ примѣромъ. Если смѣшать 80 *г* воды при 22° съ 5 *г* снѣга при 0°, то снѣгъ таетъ, а температура воды понижается до 16°. Но 80 *г* воды охладились на 6°, слѣдовательно, они потеряли $80 \times 6 = 480$ граммкалорій [1]). Это тепло ушло на то, чтобы растопить 5 *г* снѣга и нагрѣть полученные 5 *г* воды до 16°. Но для того чтобы нагрѣть 5 *г* воды отъ 0° до 16°, требуется $5 \times 16 = 80$ граммкалорій. Отнимая отъ 480 калорій 80 калорій, мы получимъ лишнихъ 400 калорій, которыя и пошли на плавленіе 5 *г* снѣга. Слѣдовательно, для плавленія одного грамма снѣга требуется 80 единицъ тепла.

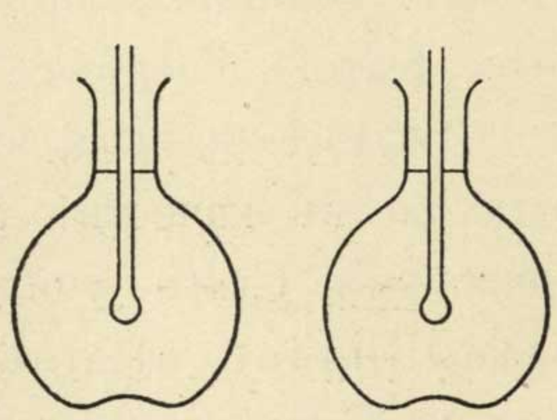


Рис. 48

Опредѣленіе теплоты плавленія по Блэку.

49. Подобныя же изслѣдованія, какія Блэкъ произвелъ надъ таяніемъ, могутъ быть сдѣланы и въ отношеніи замерзанія. Если охладить массу воды до 0°, то она замерзаетъ не сразу, а по прошествіи извѣстнаго времени, когда выдѣлится то количество теплоты, которое было бы необходимо, чтобы расплавить такое же количество льда. Термометръ, вставленный въ замерзающую воду, показываетъ 0° до тѣхъ поръ, пока вся вода не превратится въ ледъ, несмотря на то, что изъ замерзающей воды все время выдѣляется теплота. Что каждая единица вѣса воды дѣйствительно выдѣляетъ при замерзаніи 80 единицъ тепла, Блэкъ показалъ при помощи слѣдующаго опыта надъ переохлажденіемъ съ особымъ термометромъ.

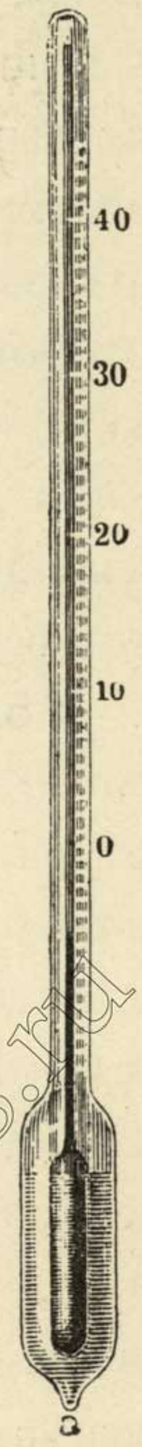


Рис. 49

Приборъ Блэка для опредѣленія выдѣленія тепла при замерзаніи.

Обыкновенный термометръ заключаютъ въ стеклянную оболочку (рис. 49), которая наполняется водой. Прежде чѣмъ запаять стеклянный футляръ, воздухъ надъ водой въ немъ выгоняется посредствомъ кипяченія. Допустимъ, что въ футлярѣ содержится 8 *г* воды. Охладивъ эту воду до —10° С, ее путемъ встряхиванія превращаютъ въ ледъ. При этомъ термометръ поднимается до 0° (ср. § 44). Внимательное изслѣдованіе показываетъ, что въ ледъ превратился 1 *г* воды. Это находится въ соотвѣтствіи съ допущеніемъ Блэка, ибо 8 *г* воды нагрѣлись отъ —10° до 0°, для чего потребовалось $8 \times 10 = 80$ единицъ тепла. Съ другой стороны, 1 *г* воды превратился въ ледъ и при этомъ выдѣлилось 80 единицъ тепла.

50. Опытъ Блэка показываетъ, такимъ образомъ, что при таяніи вѣсовой единицы льда въ водѣ остаются скрытыми или связанными 80 единицъ тепла, равнымъ образомъ при замерзаніи каждой вѣсовой единицы воды выдѣляется или освобождается такое же количество тепла.

---

[1]) Граммкаліорій называется количество тепла, которое нужно для нагрѣванія 1 *г* воды на 1° С.

http://mathesis.ru

Подобнымъ же образомъ дѣло происходитъ при плавленіи и застываніи всякаго иного тѣла. При плавленіи теплота связывается, а при застываніи она освобождается. Теплота плавленія льда весьма значительна въ сравненіи съ теплотой плавленія другихъ тѣлъ, что въ природѣ играетъ очень важную роль. Ранней весной, во время таянія образовавшагося въ теченіе зимы льда, связывается огромное количество тепла. При наступленіи морозовъ осенью эта теплота снова освобождается. Благодаря этому замедляется переходъ отъ холоднаго времени года къ теплому и обратно.

51. Одновременно съ Блэкомъ измѣреніемъ теплоты плавленія занимался Іоганнъ Карлъ Вильке.

Вильке родился въ 1732 году въ Висмарѣ, гдѣ его отецъ былъ священникомъ и откуда, въ качествѣ священника тамошней нѣмецкой общины, онъ перевелся въ Стокгольмъ. Сынъ учился сначала въ Упсалѣ, затѣмъ въ Гёттингенѣ и Ростокѣ. Позже Вильке нѣкоторое время провелъ въ Берлинѣ, но въ 1759 году онъ переѣхалъ въ Стокгольмъ, чтобы здѣсь читать лекціи по физикѣ. Въ 1784 году онъ сдѣлался членомъ, а позже секретаремъ шведской Академіи. Умеръ онъ въ 1796 году. Мы еще встрѣтимся съ Вильке въ другой области физики. Здѣсь же онъ долженъ быть отмѣченъ наряду съ Блэкомъ, такъ какъ эти два выдающихся изслѣдователя, изучавшіе независимо другъ отъ друга теплоту плавленія, разобрались еще въ одномъ весьма важномъ явленіи въ области теплоты.

Уже въ первой половинѣ XVIII столѣтія было извѣстно, что при смѣшеніи двухъ равныхъ количествъ воды при температурѣ соотвѣтственно 10^0 и 20^0 получается смѣсь съ температурой 15^0. Вслѣдъ за этимъ Фаренгейтъ замѣтилъ, что при смѣшеніи одинаковыхъ объемовъ воды и ртути, напримѣръ, воды при 20^0 и ртути при 10^0, температура смѣси будетъ выше средней температуры. Отсюда уже было нетрудно сдѣлать заключеніе, что вода при охлажденіи на 1^0 выдѣляетъ больше тепла, чѣмъ то, которое нужно, чтобы нагрѣть равный объемъ ртути на 1^0, такъ какъ на нагрѣваніе ртути идетъ теплота, выдѣленная водой. Однако, этотъ выводъ изъ опыта Фаренгейта не былъ сдѣланъ. Напротивъ, скорѣе допускали, что въ равныхъ объемахъ различныхъ тѣлъ при одной и той же температурѣ содержится одно и то же количество тепла.

52. Блэкъ далъ слѣдующее объясненіе этому опыту Фаренгейта. „Допустимъ, что вода имѣла температуру въ 100^0 Ф, а ртуть въ 150^0 Ф. Средняя температура между 100^0 и 150^0 составляетъ 125^0, и если смѣшать воду при 100^0 Ф съ равнымъ объемомъ воды при 150^0 Ф, то температура смѣси будетъ 125^0. Теплая вода охлаждается на 25^0, а холодная вода нагрѣвается на то же число градусовъ. Если же вмѣсто воды при 150^0 взять ртуть при 150^0, то температура смѣси будетъ только 120^0. Ртуть охладилась, слѣдовательно, на 30^0, а вода нагрѣлась лишь на 20^0 И все же количество теплоты, поглощенное водой, въ точности равно тому, которое отдала ртуть. Это доказываетъ, что одно и то же количество теплоты нагрѣваетъ ртуть больше, чѣмъ равный ей объемъ воды. Ртуть требуетъ, слѣдовательно, для своего нагрѣванія на извѣстное число градусовъ меньшее количество теплоты, чѣмъ вода“.

Блэкъ выражалъ это свойство ртути, говоря, что ртуть обладаетъ меньшей ёмкостью по отношенію къ теплотѣ, которая тогда еще считалась особымъ видомъ вещества. Эту теплоёмкость или удѣльную теплоту [1]) впослѣдствіи стали отно-

[1]) Это названіе было введено Іоганномъ Гадолиномъ въ Або въ 1784 году.

http://rcin.org.pl

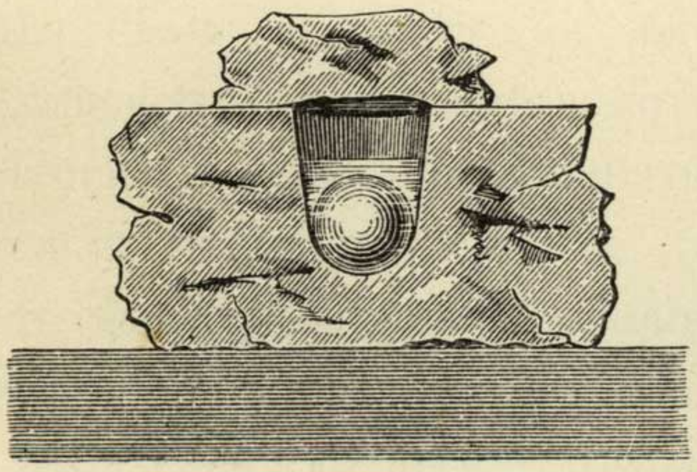
сить не къ равнымъ объемамъ вещества, а къ равнымъ вѣсовымъ количествамъ. Удѣльная теплота есть число единицъ тепла, необходимое для нагрѣванія вѣсовой единицы тѣла на 1^0 С. Удѣльная теплота воды принимается за 1, т. е. для нагрѣванія 1 грамма воды на 1^0 С требуется одна единица тепла.

53. Блэкъ далъ два метода опредѣленія удѣльной теплоты. Одинъ изъ нихъ заключается въ томъ, что небольшой шарикъ изъ изслѣдуемаго вещества нагрѣваютъ до извѣстной температуры и затѣмъ охлаждаютъ до 0^0 внутри куска льда (рис. 50). Количество растаявшаго льда опредѣляется такимъ образомъ, что полученная вода всасывается губкой, которая взвѣшивается до и послѣ этого всасыванія. По количеству растаявшаго льда, вѣсу и начальной температурѣ шарика удѣльная теплота опредѣляется слѣдующимъ образомъ.

Примѣръ. Мѣдный шарикъ вѣсомъ въ 8 *г* нагрѣвается до 100^0 и затѣмъ охлаждается въ кускѣ льда. При помощи взвѣшиванія опредѣляется, что растаялъ 1 *г* льда. Какова удѣльная теплота мѣди? Отвѣтъ: такъ какъ мѣдный шаръ, охладившійся со 100^0 до 0^0, растопилъ 1 *г* льда, то онъ отдалъ 80 единицъ тепла. При охлажденіи на одинъ градусъ шарикъ, слѣдовательно, отдаетъ 0·8 единицъ тепла. Значитъ, одинъ граммъ мѣди при охлажденіи на одинъ градусъ отдастъ 0·1 единицы тепла, т. е. удѣльная теплота мѣди равна 0·1.

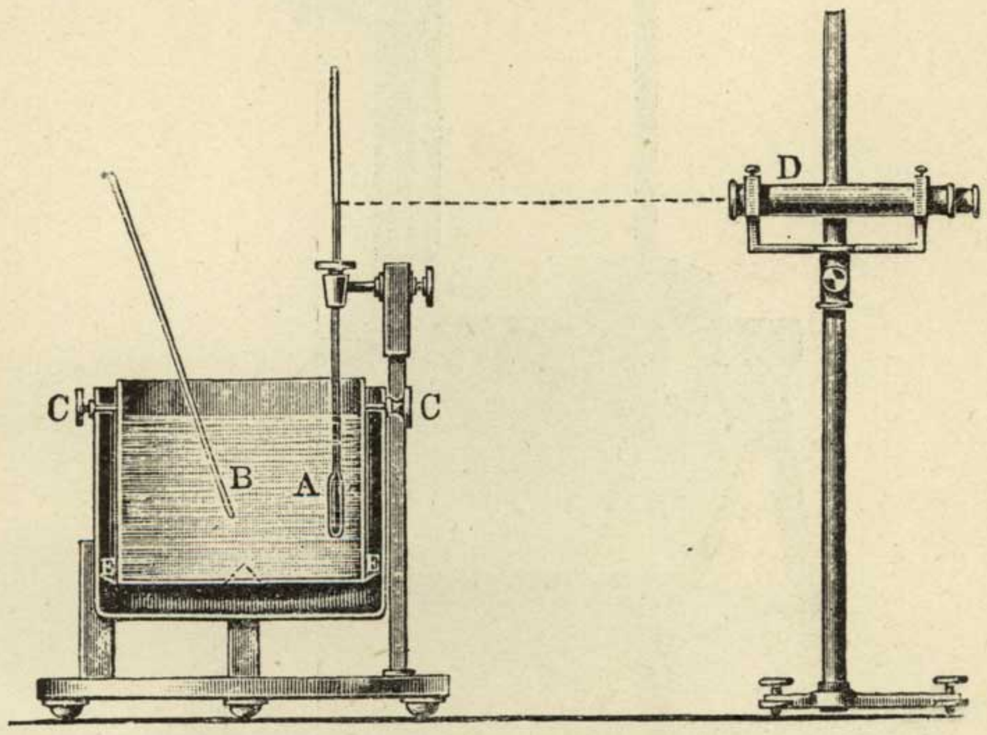
Другой способъ, которымъ пользовался Блэкъ для опредѣленія удѣльной теплоты, заключается въ томъ, что тѣло нагрѣваютъ до опредѣленной температуры и затѣмъ погружаютъ въ опредѣленный объемъ воды извѣстной температуры. Приборы,

Рис. 50



Способъ Блэка опредѣленія удѣльной теплоты.

Рис. 51



Калориметръ и катетометръ.

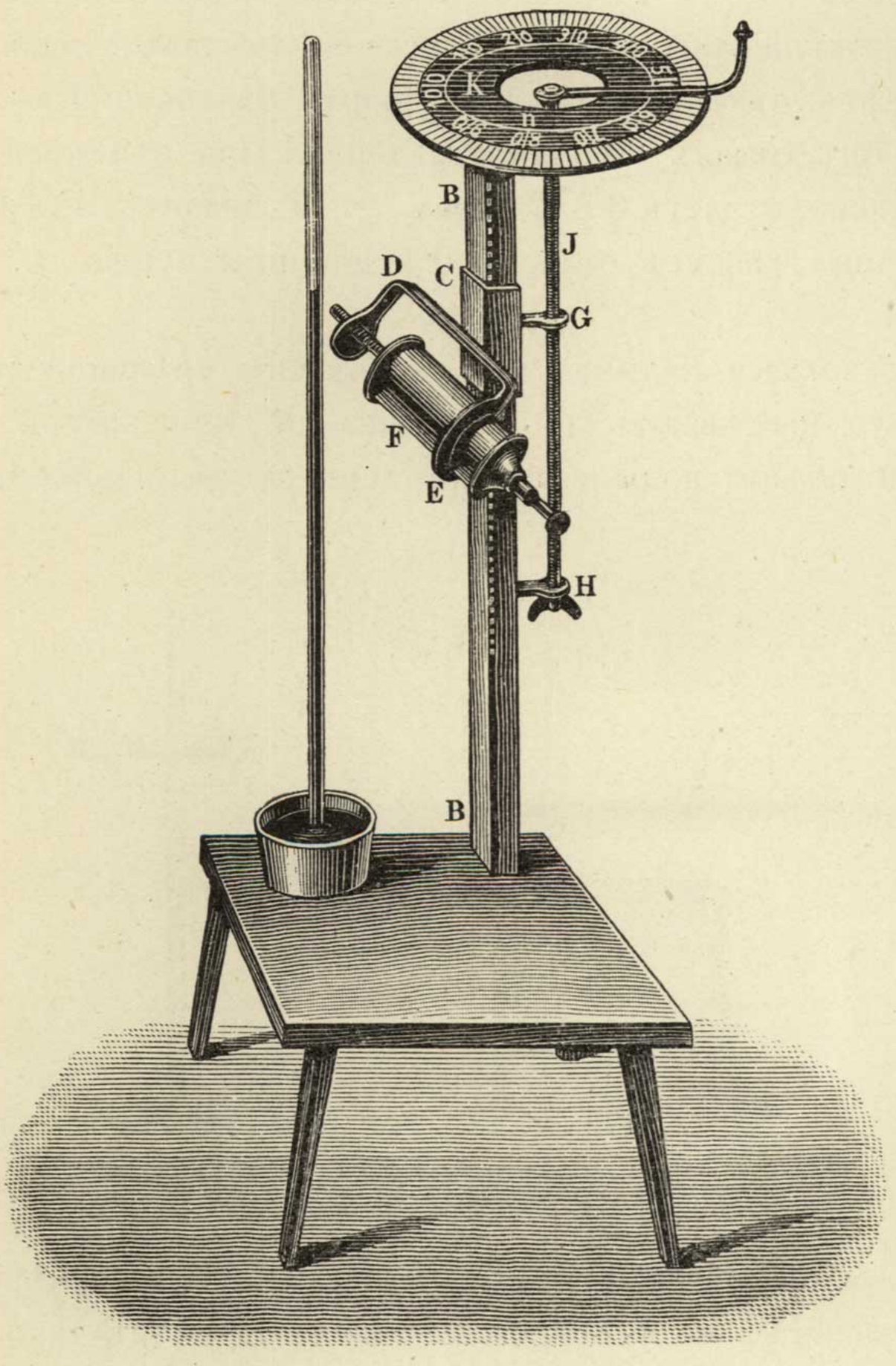
служащіе для подобнаго рода опытовъ, называемые калориметрами (т. е. измѣрителями теплоты), были впослѣдствіи значительно усовершенствованы. Приборъ такого рода, употребляемый въ настоящее время, изображенъ на рис. 51. Металлическій сосудъ, отполированный снаружи, лежитъ на подставкахъ *E*, обложенныхъ пробкой или слоновой костью, и поддерживается двумя установочными винтами *C*, концы которыхъ также покрыты пробкой или слоновой костью. Сосудъ этотъ помѣщается въ другой, отполированный изнутри. Этимъ внутренній сосудъ защищается отъ потери теплоты путемъ лучеиспусканія, такъ какъ тепловые лучи, исходящіе отъ внутренняго сосуда, отражаются обратно стѣнками внѣшняго. Отъ потери теплоты путемъ теплопроводности предохраняютъ сосудъ упомянутыми пробкой или слоновой

http://mathesis.ru

костью, такъ какъ эти вещества плохіе проводники тепла. Если опытъ производится быстро и температура воды мало отличается отъ температуры воздуха, то потеря тепла почти незамѣтна. Въ противномъ случаѣ необходимо внести поправку въ наблюденную температуру. Сосудъ содержитъ опредѣленное количество воды, *A* есть чувствительный термометръ, *B* мѣшалка. Раньше, чѣмъ отсчитать температуру, необходимо перемѣшать воду, чтобы быть увѣреннымъ, что температура въ калориметрѣ вездѣ одинакова.

Допустимъ, что въ калориметрѣ заключается 64 *г* воды комнатной температуры въ 15° С. Чтобы опредѣлить удѣльную теплоту сѣры, нагрѣваютъ 10 *г* ея до 48° и затѣмъ бросаютъ въ воду. Температура воды при этомъ повышается на 1°. Вода и сѣра имѣютъ теперь одну и ту же температуру, а именно 16°. Вода получила отъ сѣры 64 единицы тепла, а сѣра отдала это количество теплоты, охладившись съ 48° до 16°, т. е. на 32°. Отсюда слѣдуетъ, что 1 *г* сѣры, охлаждаясь на 1°, отдаетъ 0·2 единицы тепла, т. е. что удѣльная теплота сѣры равна 0·2.

Рис. 52



Катетометръ Грэя.

Если желательно получить при этихъ опытахъ очень точные результаты, то слѣдуетъ принять во вниманіе, что нагрѣвается не только вода, но также и самый калориметръ, термометръ и мѣшалка. Чтобы внести поправки въ наблюденную температуру смѣси на потерю теплоты, необходимо въ теченіе всего опыта точно наблюдать за ходомъ измѣненія показаній термометра. Это дѣлается при помощи зрительной трубы, снабженной перекрестными нитями (I, § 104) и передвигающейся вдоль вертикальной линейки вверхъ и внизъ

Этотъ приборъ, называемый катетометромъ, играетъ большую роль при многихъ физическихъ измѣреніяхъ, именно, когда требуется опредѣлять съ большой точностью разности высотъ. Изобрѣтателемъ этого прибора является Стефанъ Грэй (ум. 1736), которому, какъ мы увидимъ ниже, принадлежитъ также важное открытіе въ области ученія объ электричествѣ. Его первый катетометръ, устроенный для наблюденія показаній барометра, изображенъ на рис. 52. Приборъ *EF*, укрѣпленный на обоймѣ *C*, не зрительная труба, а микроскопъ. Перемѣщеніе обоймы вмѣстѣ съ микроскопомъ

http://mathesis.ru

производилось вращеніемъ винта *JH*, проходившаго сквозь гайку *G*. Высота хода винта была очень мала, а при помощи рукоятки, которою вращался винтъ, можно было отсчитывать по снабженному дѣленіями кругу небольшія доли оборота.

54. Удѣльную теплоту газообразныхъ тѣлъ можно измѣрить въ калориметрѣ, пропустивъ газъ черезъ змѣевикъ, окруженный водой. Пропустивъ черезъ эту трубку опредѣленное количество газа, наблюдаютъ, на сколько градусовъ поднялась температура воды. Такъ какъ производство этихъ опытовъ требуетъ довольно много времени, то необходимо очень тщательно опредѣлять потерю теплоты. Мы не можемъ здѣсь входить ближе въ подробности этого опыта. А. Реньо (ср. § 84) принадлежатъ особенно большія заслуги въ дѣлѣ опредѣленія удѣльной теплоты.

Въ слѣдующей таблицѣ приведена удѣльная теплота нѣкоторыхъ тѣлъ:

вода	1	платина . . .	0·033
ледъ	0·5	свинецъ . . .	0·031
желѣзо	0·114	спиртъ . . .	0·602
мѣдь	0·095	бензолъ . . .	0.386
цинкъ	0·096	воздухъ . . .	0·237
серебро . . .	0·057	кислородъ . . .	0·217
олово	0·055	азотъ . . .	0·244
ртуть	0·033	водородъ . . .	3·409 [1])

Большая удѣльная теплота воды играетъ въ природѣ роль, сходную съ большой теплотой плавленія льда (§ 50). Лѣтомъ солнце нагрѣваетъ воду и каждый фунтъ воды, нагрѣваясь на одинъ градусъ, поглощаетъ единицу тепла. Эта теплота впослѣдствіи опять возвращается холодному воздуху и въ значительной степени замедляетъ его охлажденіе.

Паръ

55. Повседневный опытъ учитъ, что вода можетъ превращаться въ „воздухъ“. Влажные предметы на воздухѣ становятся сухими, а вода въ сосудахъ мало по малу исчезаетъ, превращаясь въ „воздухъ“. Древнимъ это явленіе было извѣстно такъ же хорошо, какъ и намъ. Точно такъ же они знали, что при нагрѣваніи превращеніе воды въ воздухъ идетъ быстрѣе, и если довести нагрѣваніе до извѣстной степени, то вода начинаетъ кипѣть, т. е. превращеніе происходитъ уже не только безшумно на поверхности, но вся масса начинаетъ бурлить и клокотать, причемъ на днѣ сосуда появляются „пузыри воздуха“, которые проходятъ сквозь воду наверхъ и исчезаютъ въ воздухѣ.

Древніе, безъ сомнѣнія, имѣли крышки на своихъ кастрюляхъ и котлахъ и наблюдали, что „воздухъ“, образующійся при кипѣніи воды, въ состояніи приподымать ихъ съ большой силой.

Такимъ путемъ уже въ давно прошедшія времена узнали, что „воздухъ“, образующійся изъ воды, занимаетъ гораздо бо̀льшій объемъ, чѣмъ сама вода. Если по-

---

[1]) У газообразныхъ тѣлъ слѣдуетъ различать двоякую удѣльную теплоту: удѣльную теплоту при постоянномъ давленіи и удѣльную теплоту при постоянномъ объемѣ. Числа таблицы даютъ первую. Вторая меньше и относится къ первой, какъ 1:1·4. *Прим. пер.*

http://mathesis.ru

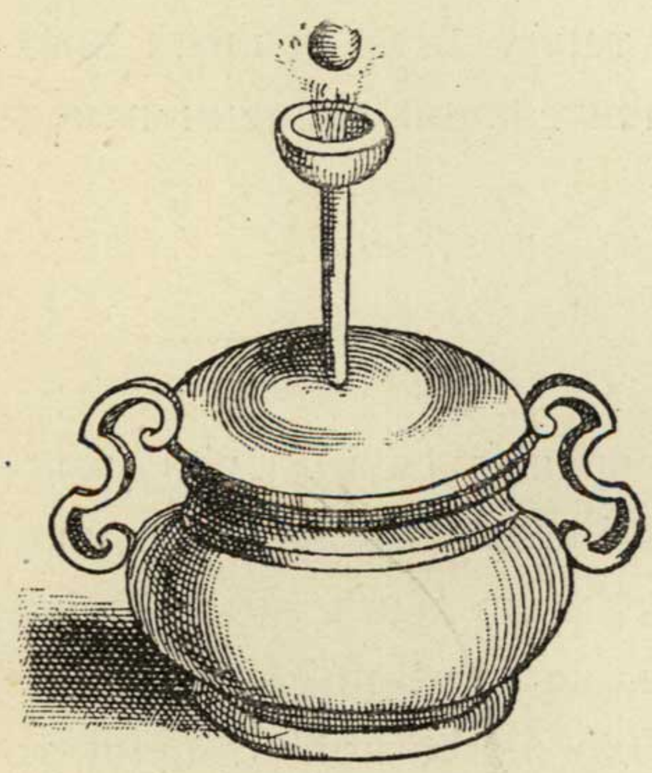
пытаться заключить этотъ „воздухъ“ въ небольшой сосудъ, то онъ будетъ производить давленіе на стѣнки сосуда. Уже Аристотель имѣлъ представленіе о томъ, что давленіе „воздуха“ при такихъ условіяхъ можетъ быть очень велико; онъ даже объяснялъ землетрясенія тѣмъ, что вода внутри земли внезапно превращается въ „воздухъ“, который съ непреодолимой силой стремится занять большее пространство и вслѣдствіе этого сотрясаетъ землю.

Аристотель, какъ и другіе древніе писатели, не дѣлаетъ различія между обыкновеннымъ воздухомъ и „воздухомъ“, образующимся изъ воды. Однако, ему было извѣстно, что этотъ послѣдній воздухъ на холодѣ снова превращается въ воду. Онъ упоминаетъ о томъ, что роса падаетъ обильнѣе всего въ холодныя ясныя ночи и что вода, полученная путемъ охлажденія „воздуха“, образовавшагося изъ морской воды, не имѣетъ соленаго вкуса.

Ради практическихъ цѣлей мы будемъ въ послѣдующемъ называть воду въ газообразномъ состояніи паромъ. Когда паръ снова переходитъ въ воду, то говорятъ, что онъ конденсируется. Древніе народы знали, такимъ образомъ, что паръ при охлажденіи конденсируется.

56. Геронъ воспользовался тѣмъ, что паръ занимаетъ бо́льшій объемъ, чѣмъ вода, для устройства различныхъ приборовъ. На рис. 53 изображенъ танцующій шарикъ Герона, который поддерживается въ воздухѣ паромъ, выходящимъ изъ трубки, вдѣланной въ крышку, плотно закрывающую металлическій сосудъ. Этотъ сосудъ наполняютъ до половины водой и ставятъ на огонь. Если объемъ сосуда находится въ надлежащемъ отношеніи къ величинѣ трубки, то струя пара въ состояніи поддерживать шарикъ и, ударяя болѣе или менѣе центрально въ шарикъ, заставляетъ его двигаться вверхъ и внизъ.

Рис. 53



Танцующій шарикъ Герона.

Другой паровой приборъ Герона изображенъ на рис. 54. Въ металлическомъ сосудѣ AB, наглухо закрытомъ крышкой, можно нагрѣвать воду до кипѣнія. Паръ стремится черезъ трубку EFG въ небольшой шаръ, который противоположной стороной опирается на угольникъ LM, такъ что можетъ вращаться вокругъ оси FGM. Внутренняя часть шара сообщается съ воздухомъ двумя колѣнчатыми трубками H и K. Когда вода въ сосудѣ кипитъ, паръ устремляется наружу черезъ трубки H и K и шаръ приходитъ во вращательное движеніе.

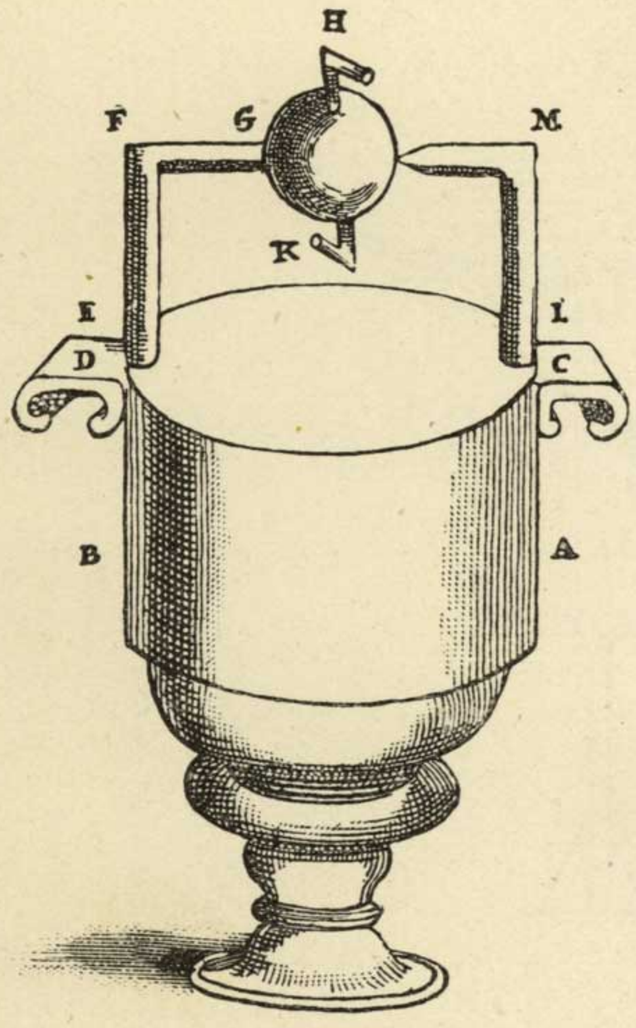
Почему возникаетъ это движеніе шара, видно изъ прибора, изображеннаго на рис. 55. На плавающей пробковой пластинкѣ стоитъ стеклянный цилиндръ, наполненный водой. A—трубка для истеченія воды, снабженная краномъ. Если открыть этотъ кранъ, то приборъ начинаетъ двигаться въ противоположную сторону. Дѣло въ томъ, что во время истеченія воды изъ трубки уничтожается боковое давленіе на ту часть стѣнки сосуда, въ которую вдѣланъ кранъ. Давленіе на противоположную часть стѣнки A' сосуда и приводитъ приборъ въ движеніе (ср. I, § 193). То же явленіе имѣетъ мѣсто при выстрѣлѣ изъ пушки. Послѣ выстрѣла пушка откатывается назадъ, такъ какъ давленіе внутри жерла дѣйствуетъ только назадъ.

http://mathesis.ru

Въ приборѣ Герона устраняется давленіе на отверстія колѣнчатыхъ трубокъ. Боковое давленіе въ противоположномъ направленіи приводитъ шаръ въ движеніе.

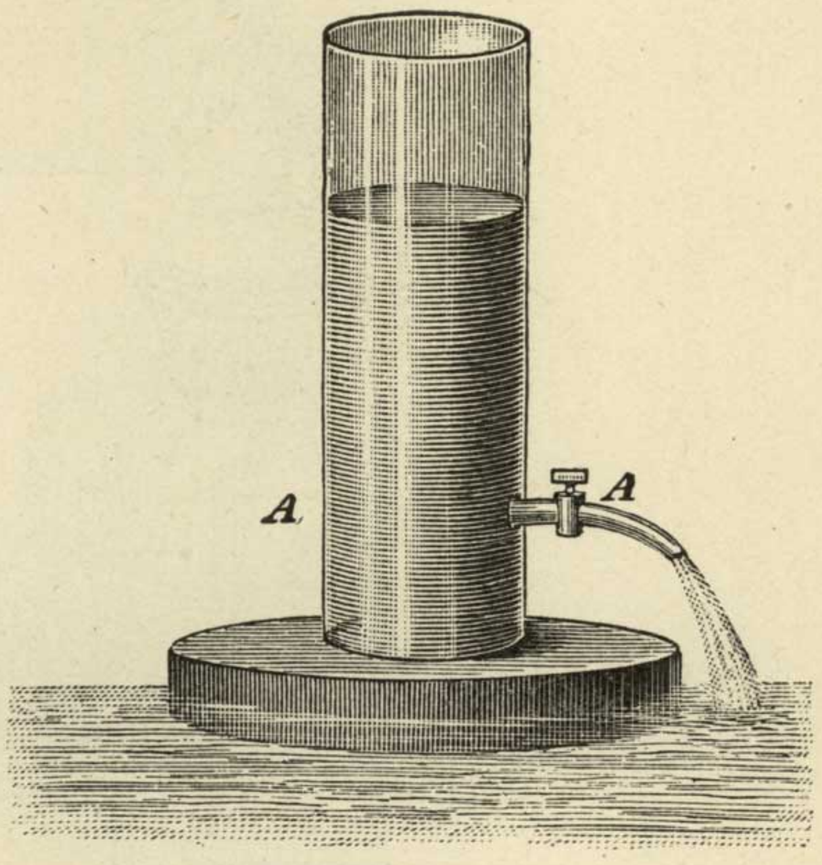
Этотъ приборъ, такъ называемый эолипилъ (по-русски „шаръ Эола“), представляетъ собой лишь занимательную игрушку. Едвали и самъ Геронъ думалъ о томъ, чтобы воспользоваться вращающимся шаромъ въ качествѣ двигателя для машинъ. Если, однако, паровой котелъ и топка устроены въ такомъ соотвѣтствіи съ отверстіями, что истеченіе пара происходитъ съ большой быстротой, а, значитъ, и съ большой силой, то и шаръ вращается также съ большой силой.

Рис. 54



Эолипилъ Герона.

Рис. 55



Уничтоженіе бокового давленія.

Въ настоящее время строятъ паровыя машины, основанныя на принципѣ сходномъ съ принципомъ эолипила Герона. Это такъ называемыя паровыя турбины. По устройству онѣ проще обыкновенныхъ паровыхъ машинъ, но пользованіе ими обходится дороже. Онѣ находятъ себѣ примѣненіе въ тѣхъ случаяхъ, когда требуется большая скорость вращенія [1]).

Геронъ былъ, слѣдовательно, недалекъ отъ открытія одного изъ наиболѣе употребительныхъ въ настоящее время видовъ паровыхъ машинъ. Но онъ во всякомъ случаѣ не имѣлъ никакого представленія о значеніи своего открытія. Еслибъ онъ думалъ о постройкѣ машинъ, дающихъ движущую силу, то, быть можетъ, онъ попытался бы усовершенствовать свой эолипилъ.

Римскій архитекторъ Витрувій, жившій въ началѣ христіанской эры, въ своей книгѣ „De architectura“ подробно описываетъ паровой шаръ Герона, но не развиваетъ этой идеи дальше. Но изъ сочиненія Витрувія римскіе техники ознакомились съ Герономъ и въ XVI вѣкѣ Чезаре Чезаріано упоминаетъ объ эолипилѣ въ комментаріяхъ къ сочиненіямъ Витрувія.

За этотъ долгій промежутокъ времени въ 1500 лѣтъ сохранилось лишь немного свѣдѣній, которыя указывали бы, что свойства водяного пара продолжали привле-

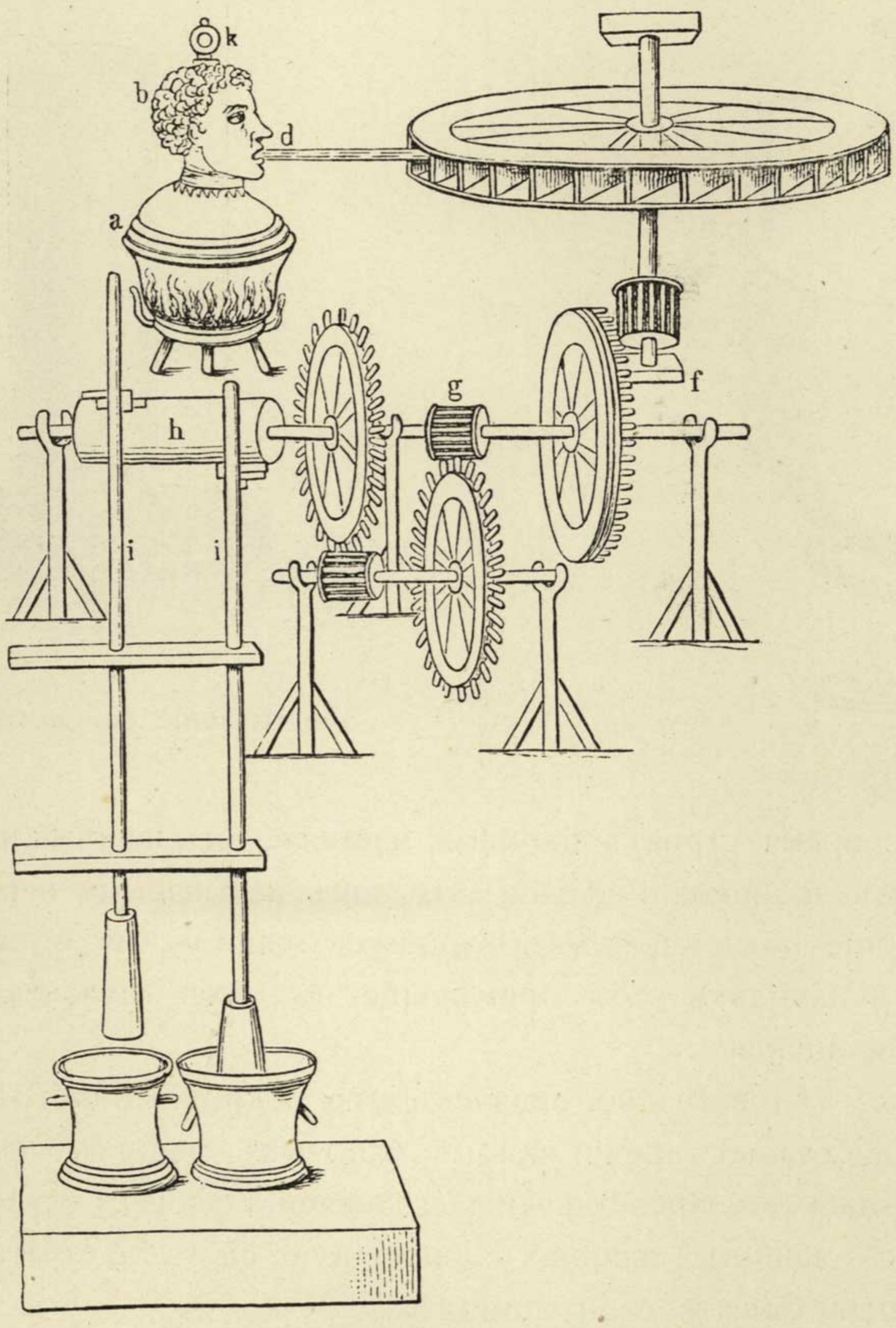
---

[1]) Въ настоящее время паровыя турбины значительно усовершенствованы и уже примѣнены, напримѣръ, къ движенію самыхъ большихъ военныхъ и торговыхъ судовъ. *Прим. ред.*

http://mathesis.ru

кать къ себѣ вниманіе. Отдѣльныя сообщенія все же указываютъ, что свойство пара производить давленіе не было забыто. Такъ разсказываютъ, что строитель церкви св. Софіи въ Константинополѣ, Антемій (около 530 г.), желая отомстить своему сосѣду оратору Зенону, съ которымъ онъ былъ во враждѣ, построилъ въ своемъ подвалѣ паровой котелъ и провелъ изъ него паръ по скрытой трубкѣ въ домъ Зенона. Онъ пустилъ паръ на балки съ такой силой, что его давленіе поколебало весь домъ. Зенонъ приписалъ это землетрясенію и объявилъ, что предпочитаетъ скорѣе покинуть домъ, чѣмъ быть сосѣдомъ человѣка, который владѣетъ трезубцемъ Нептуна.—Въ

Рис. 56



Паровая мельница Бранка (1629).

X вѣкѣ епископъ Гербертъ, впослѣдствіи папа Сильвестръ II, построилъ для церкви въ Реймсѣ органъ, въ который вмѣсто воздуха вдувался паръ. Далѣе, можно упомянуть, что у вендовъ была найдена статуя бога, внутренность которой наполнялась водой и которая извергала изо рта паръ, когда ее ставили на огонь.

Упомянутый выше Чезаре Чезаріано въ 1521 году издалъ комментарій къ сочиненіямъ Витрувія, въ которомъ онъ подробно говоритъ о томъ, что изъ эолипила, т. е. изъ парового котла съ трубкой въ крышкѣ, паръ вырывается съ большой силой. Изъ его описанія заключили, что эолипилъ служилъ въ то время военнымъ

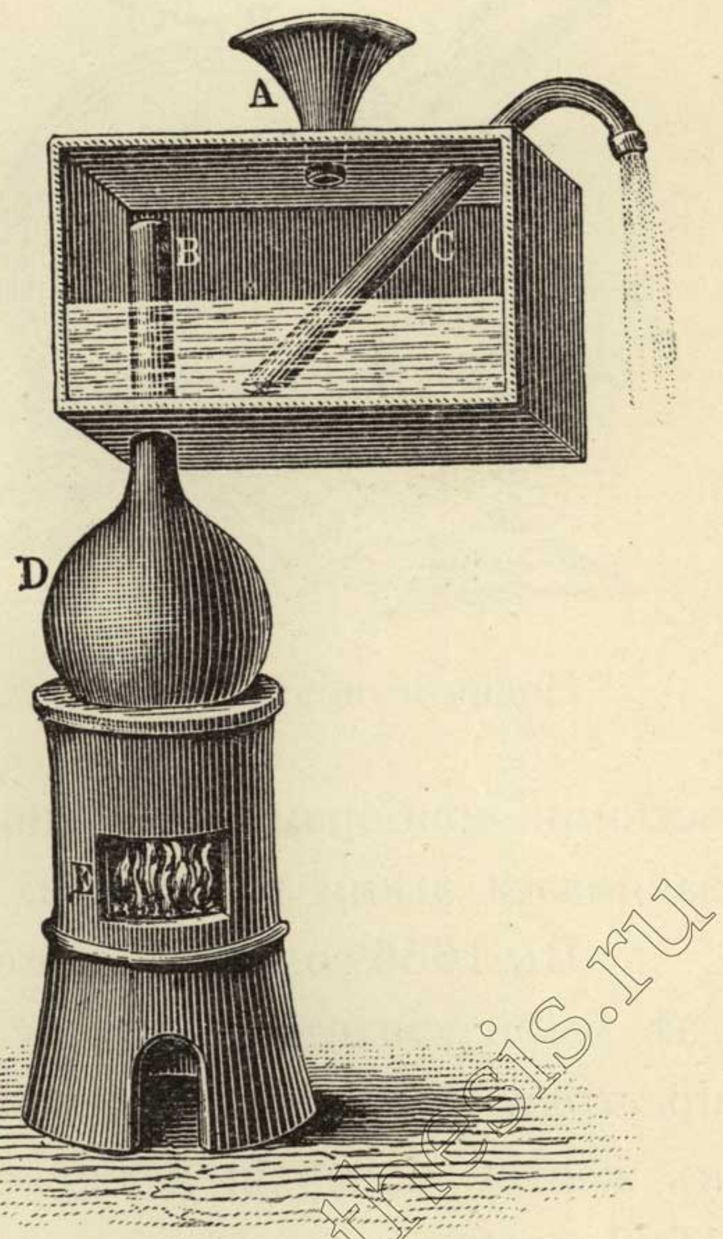
http://matheis.ru

орудіемъ для метанія ядеръ или для пусканія струй воды. Нѣсколько сочиненій XVI и начала XVII вѣка указываютъ на то, что изученіе произведеній Витрувія и Герона вызвало первыя попытки примѣнить истеченіе пара въ качествѣ движущей силы.

57. Такъ, въ 1543 году капитанъ Бласко де Гарай пытался въ Барселонскомъ порту привести въ движеніе корабль при помощи колесъ, которыя двигались силой пара. Какимъ образомъ паръ, получавшійся въ большомъ котлѣ, приводилъ въ движеніе колеса, неизвѣстно. Мало вѣроятно, чтобы Гарай построилъ настоящую паровую машину. Быть можетъ, онъ заставлялъ струю пара дѣйствовать, непосредственно на лопатки колеса. Въ послѣдующее время мы встрѣчаемся съ этимъ способомъ въ такъ называемыхъ паровыхъ мельницахъ, напримѣръ, у итальянскаго инженера Джованни Бранка, издавшаго въ 1629 году книгу о машинахъ, изъ которой заимствованъ рис. 56. Здѣсь *a* паровой котелъ, крышка котораго имѣетъ форму человѣческой головы, держащей во рту трубку. Черезъ эту трубку паръ устремляется на лопатки колеса и приводитъ его въ движеніе. Какъ видно изъ рисунка, Бранка думалъ, что такая паровая мельница можетъ служить для приведенія въ дѣйствіе толчеи. Но этотъ приборъ едвали могъ найти практическое примѣненіе, такъ какъ расходъ пара по сравненію съ произведенной работой здѣсь былъ бы слишкомъ великъ.

58. Еще до появленія книги Бранка, Делла Порта пытался измѣрить объемъ пара, получаемаго изъ опредѣленнаго объема воды. Расположеніе его опыта изображено на рис. 57. Горло бутылкообразнаго металлическаго сосуда *D* плотно вдѣлано въ дно болѣе обширнаго резервуара. При нагрѣваніи воды въ *D* образующійся паръ подымается въ резервуаръ и вытѣсняетъ воду черезъ трубку *C* наружу. Порта принималъ, что вытѣсненный объемъ воды представляетъ собою объемъ пара. Это, однако, невѣрно, такъ какъ паръ отчасти конденсируется, приходя въ соприкосновеніе съ холодной водой. Это измѣреніе объема пара не имѣетъ поэтому никакого значенія, но приборъ можетъ служить для того, чтобы подымать воду давленіемъ пара.

Рис. 57



Измѣреніе объема пара по Делла Портѣ.

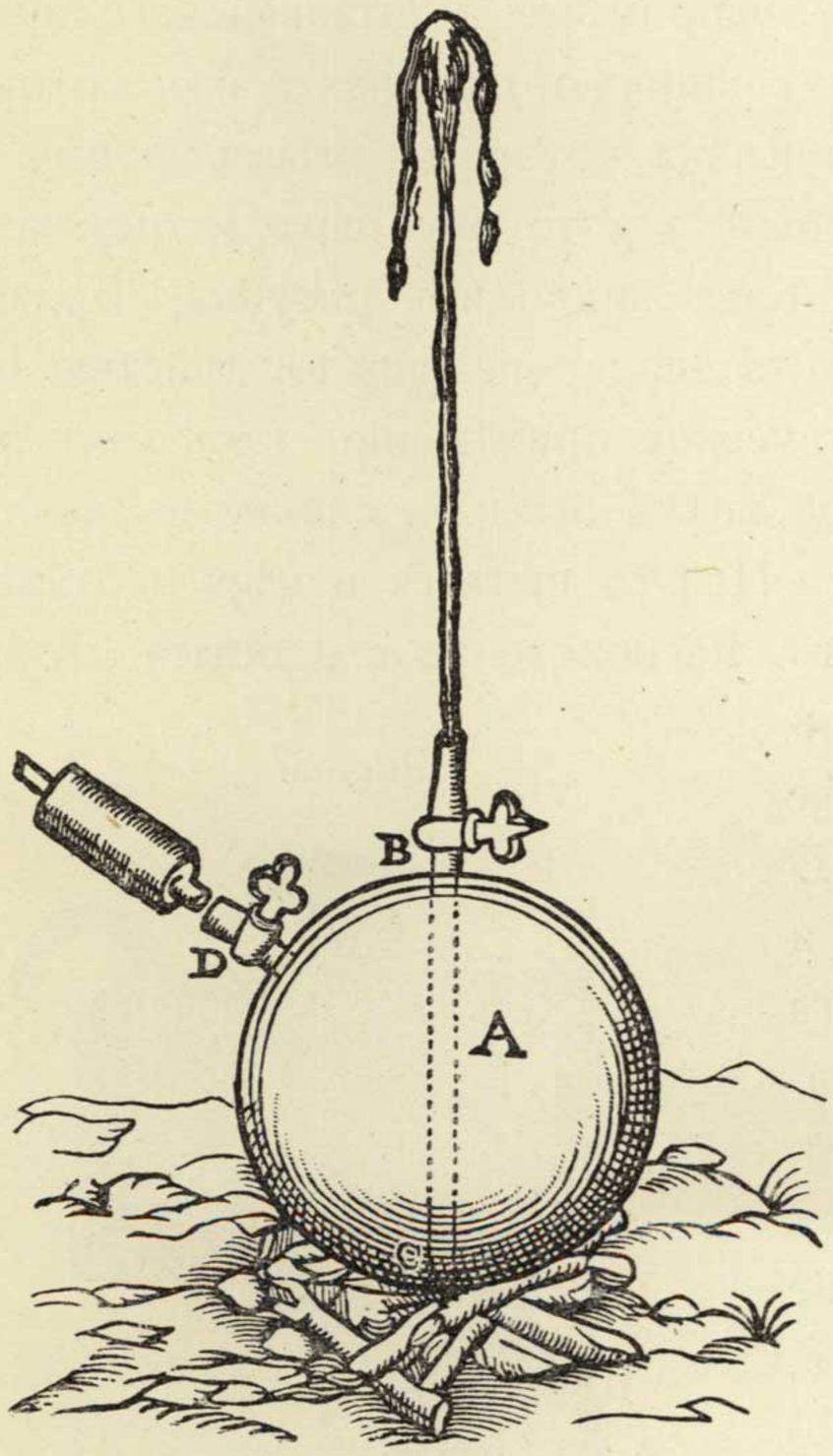
Къ началу XVII вѣка предложены были различные приборы, которые должны были служить для подъема воды давленіемъ пара. Соломонъ де Ко (1576—1626), много путешествовавшій, въ 1615 году написалъ книгу о „движущихъ силахъ“, въ которой описываетъ приборъ для поднятія воды, изображенный на рис. 58. *A* есть мѣдный полый шаръ, въ который черезъ трубку съ краномъ *D* можно налить воду. Другая трубка, также снабженная краномъ, доходитъ почти до дна шара. Если наполнить шаръ до половины водой и затѣмъ нагрѣть, закрывъ кранъ *D* и, наоборотъ, открывъ *B*, то образующійся паръ давитъ на воду и гонитъ ее черезъ трубку *CA* вверхъ. Если давленіе пара достаточно велико, то вода выбрасывается на значительную высоту.

http://mathesis.ru

Книга Соломона де Ко распадается на 2 отдѣла, изъ которыхъ одинъ трактуетъ о „теоремахъ“, а другой о „машинахъ“. Такъ какъ описанный приборъ упоминается въ первомъ отдѣлѣ, то нужно думать, что авторъ пользовался приборомъ не для дѣйствительнаго поднятія воды, а лишь описывалъ пригодное для этой цѣли приспособленіе.

59. Де Ко состоялъ при англійскомъ дворѣ въ качествѣ инженера, завѣдывавшаго водяными сооруженіями въ дворцовомъ саду въ Ричмондѣ. Кромѣ того, онъ былъ учителемъ рисованія принцессы Елисаветы. Когда же она обручилась съ курфюрстомъ пфальцскимъ Фридрихомъ V, де Ко послѣдовалъ за ней въ Гейдельбергъ, гдѣ подъ его руководствомъ былъ устроенъ дворцовый садъ. И здѣсь онъ при устройствѣ фонтановъ повидимому не пользовался давленіемъ пара для поднятія воды.

Рис. 58



Поднятіе воды давленіемъ пара.

Однако, достовѣрно извѣстно, что 30 лѣтъ спустя послѣ появленія книги де Ко, Эдуардомъ Сомерсетомъ, маркизомъ Вустерскимъ, былъ устроенъ годный для употребленія водяной насосъ, приводимый въ дѣйствіе давленіемъ пара.

Сомерсетъ принадлежалъ къ одному изъ богатѣйшихъ аристократическихъ родовъ. Подобно своему отцу, онъ былъ сторонникомъ Карла I и противникомъ Кромвелля. Они вооружили на собственныя средства отрядъ въ 2000 человѣкъ. Но, какъ извѣстно, королевскія войска были разбиты войсками парламента. Имѣнія маркиза были конфискованы, а самъ онъ долженъ былъ бѣжать заграницу. Онъ отправился во Францію, гдѣ провелъ нѣсколько лѣтъ. Онъ интересовался механическими приборами и машинами и во время своего пребыванія во Франціи вѣроятно занимался этими вопросами.

Въ 1656 году Сомерсетъ пріѣхалъ съ тайной политической миссіей въ Англію, гдѣ былъ узнанъ и заключенъ въ тюрьму. Лишь въ 1661 году, послѣ вступленія на престолъ Карла II, онъ получилъ свободу. Но состояніе его, которое онъ принесъ въ жертву монархіи и церковной партіи, не было возвращено ему. Онъ умеръ въ 1667 году въ нуждѣ.

Въ 1663 году Сомерсетъ опубликовалъ небольшое сочиненіе, въ которомъ описывалъ 100 открытій, отчасти сдѣланныхъ имъ самимъ, отчасти усовершенствованныхъ имъ. Онъ не даетъ точныхъ описаній этихъ изобрѣтеній, а приводитъ лишь болѣе или менѣе непонятные намеки и смѣшиваетъ невыполнимые проекты съ дѣйствительно полезными указаніями. Нѣтъ ничего удивительнаго поэтому, что его часто считали шарлатаномъ, желавшимъ обратить на себя вниманіе своими сочиненіями и

http://mathesis.ru

ничего не понимавшимъ въ тѣхъ вещахъ, о которыхъ онъ писалъ. Въ этомъ сочиненіи находится слѣдующее мѣсто по поводу машины для подъема воды:

„Замѣчательный и чрезвычайно дѣйствительный способъ поднимать воду и не путемъ давленія или всасыванія, такъ какъ это, какъ выражаются естествоиспытатели, возможно лишь intra sphaeram activitatis, слѣдовательно, въ очень узкихъ предѣлахъ. Способъ, о которомъ здѣсь идетъ рѣчь, не ограниченъ (въ отношеніи высоты, на которую можно поднять воду) ничѣмъ, если только сосуды достаточно прочны. Я взялъ пушку съ обломаннымъ концомъ, наполнилъ ее на три четверти водой, закрылъ жерло и отверстіе для зажиганія пороха и все это прочно закрѣпилъ винтами. Я нагрѣвалъ эту пушку непрерывно въ теченіе 24 часовъ и пушка разорвалась съ сильнымъ шумомъ. Я, слѣдовательно, имѣю средство устраивать мои сосуды такимъ образомъ, что они могутъ наполняться и опоражниваться при помощи заключающихся въ нихъ самихъ силъ.

„Я видѣлъ, какъ вода била непрерывной струей изъ трубки вверхъ на 40 футовъ, какъ изъ фонтана. Сосудъ (закрытый), наполненный водой, обращенной въ паръ огнемъ, поднималъ холодную воду на 40 футовъ вверхъ, и рабочій, наблюдавшій за машиной, долженъ былъ лишь поворачивать два крана для того, чтобы, когда одинъ резервуаръ оставался пустымъ, другой могъ начинать дѣйствовать, пока первый снова наполнялся водой и т. д. Огонь нужно поддерживать равномѣрнымъ. Но тотъ же работникъ могъ слѣдить за этимъ въ промежуткахъ между поворачиваніемъ обоихъ крановъ“.

Въ двухъ другихъ мѣстахъ книги (§ 98 и 100) также встрѣчается упоминаніе о машинахъ для подъема воды. Въ послѣднемъ параграфѣ, которымъ оканчивается книга, сказано: „При помощи этого замѣчательнаго способа, какой представляютъ два послѣднихъ названныхъ открытія, я послѣ долголѣтней работы устроилъ машину для подъема воды, которая даетъ возможность ребенку поднять невѣроятное количество воды на высоту 100 футовъ, даже по трубкѣ шириной въ 2 фута; и это происходитъ такъ естественно, что машина не слышна даже въ сосѣдней комнатѣ, и такъ легко и просто, что расходы на машину, еслибы она работала въ теченіе цѣлаго года день и ночь, не достигли бы 40 шиллинговъ (около 20 рублей). Я могу безъ преувеличенія назвать эту машину величайшимъ чудомъ въ свѣтѣ.

Я имѣю поэтому право полагать, что это открытіе увѣнчаетъ мои работы и вознаградитъ меня за всѣ мои издержки, такъ что я больше не долженъ буду думать о новыхъ открытіяхъ.

Этимъ моя сотня закончена и я не хочу больше утомлять читателя, такъ какъ я намѣренъ подарить потомству сочиненіе, въ которомъ будетъ объяснено, какъ осуществить упомянутыя открытія, и къ которому будутъ приложены гравюры на мѣди съ рисунками всѣхъ соотвѣтствующихъ частей.

In bonum publicum et ad majorem dei gloriam“.

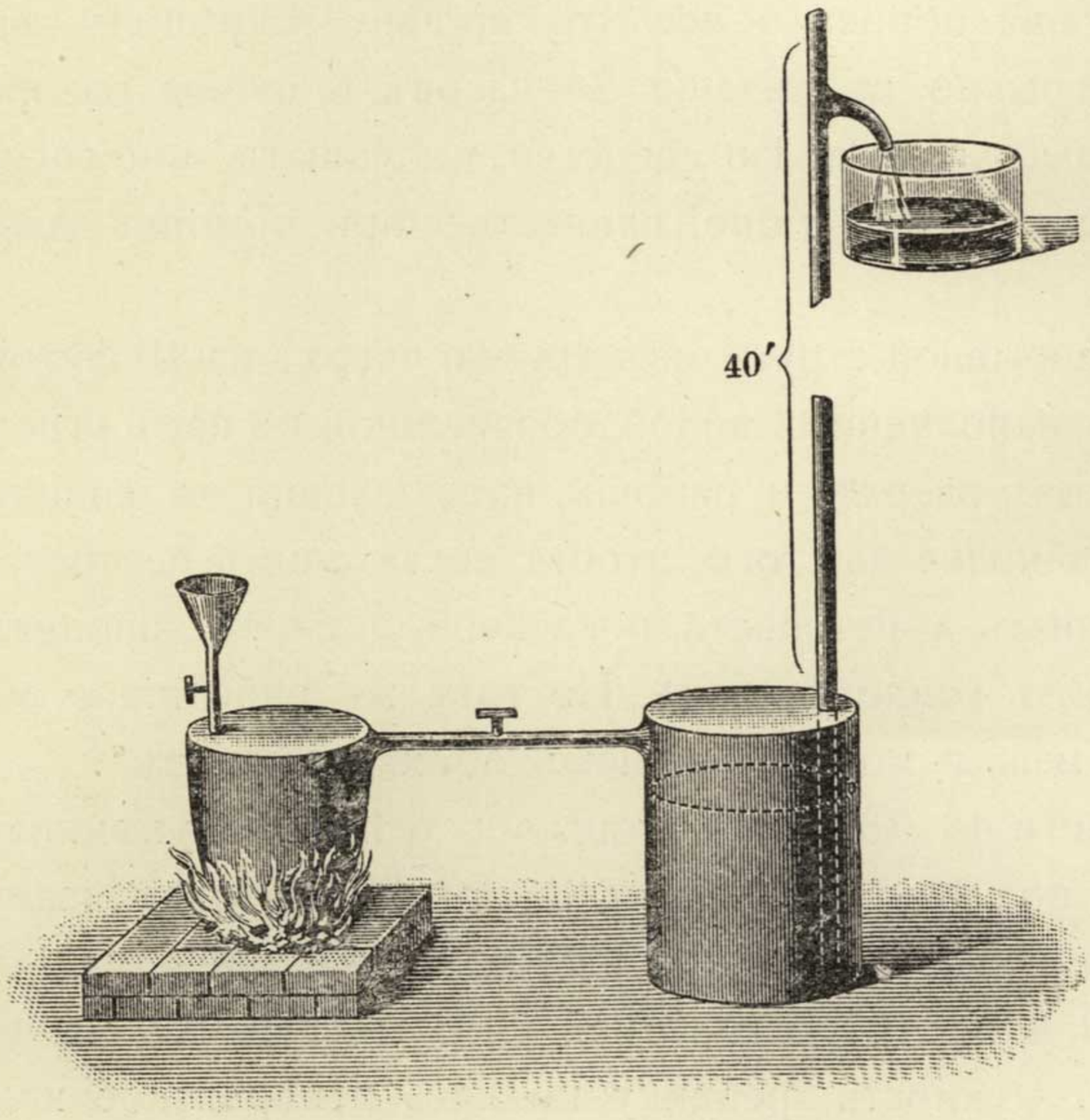
Къ сожалѣнію, обѣщанное сочиненіе никогда не появилось. Поэтому мы не можемъ опредѣленно сказать, какой видъ имѣла машина Сомерсета. Но по всей вѣроятности она имѣла устройство, сходное съ изображеннымъ на рис. 59.

Дѣйствовала ли эта машина на самомъ дѣлѣ? Многіе отвѣчали на это отрицательно. На Сомерсета долгое время смотрѣли, какъ на фантазёра и прожектёра. Въ бумагахъ, оставшихся послѣ него, однако, было найдено указаніе, что самъ онъ видѣлъ свою машину въ дѣйствіи. Именно, онъ написалъ благодарственную молитву Богу,

http://mathesis.ru

которую принесъ, „когда онъ въ первый разъ собственными глазами видѣлъ удавшійся опытъ съ машиной“. Молитва гласила слѣдующее: „О безконечный и всемогущій Богъ, Твое милосердіе не имѣетъ границъ. Твоя мудрость неизмѣрима и неисчерпаема. Благодарю Тебя прежде всего за то, что Ты создалъ меня и оказалъ мнѣ милость. Изъ глубины моего сердца приношу Тебѣ смиренную благодарность за то, что Ты далъ мнѣ проникнуть въ столь великую и столь важную для людей тайну, какъ моя машина для подъема воды. Сохрани меня, о Господи, отъ гордости знаніемъ этого и многихъ рѣдкихъ и несравненныхъ открытій, приборовъ и опытовъ, смири мое надменное сердце, показавъ мнѣ мою невѣжественную, слабую и недостойную природу, искушаемую всякимъ зломъ“.

Рис. 59



Вѣроятное устройство водоподъемной машины Сомерсета.

Но и эта бумага не устранила, однако, всѣхъ сомнѣній. Думали, что Сомерсетъ до такой степени сжился съ мыслью, что задача разрѣшена, что онъ заранѣе составилъ молитву, въ которой благодарилъ Бога за рѣшеніе задачи, къ чему онъ такъ страстно стремился.

Но что машина дѣйствительно нашла практическое примѣненіе, было подтверждено еще другимъ образомъ.

Сынъ великаго герцога тосканскаго Фердинанда II, принцъ Козимо, предпринялъ подъ руководствомъ Магалотти путешествіе въ чужіе края, причемъ все видѣнное въ путешествіи тщательно заносилось въ дневникъ. Путешественники побывали также въ Лондонѣ и видѣли тамъ машину Сомерсета. Въ дневникѣ сказано: „Съ той цѣлью, чтобы Его Высочество (принцъ Козимо) не потерялъ попусту дня, мы посѣтили другую часть города и видѣли тамъ въ одномъ саду вблизи дворца архіепископа Кэнтерберійскаго гидравлическую машину, изобрѣтенную лордомъ Сомерсетомъ, маркизомъ Вустерскимъ. Она подымала воду на высоту 40 футовъ и управлялась однимъ человѣкомъ. Въ очень короткое время она черезъ трубку лишь въ $^1/_4$ фута въ поперечникѣ наполняетъ водой 4 резервуара. Говорятъ, что она полезнѣе другой машины въ Сомерсетгоузѣ, приводимой въ движеніе двумя лошадьми“.

Машина лорда Сомерсета была, слѣдовательно, доступна всякому, но несмотря на это она не нашла распространенія. Этому содѣйствовали, вѣроятно, различныя причины. Ея изобрѣтатель въ 1663 году получилъ отъ парламента патентъ, который предоставлялъ ему и его наслѣдникамъ исключительное право изготовленія этой машины на 90 лѣтъ и постановлялъ, что за всякую поддѣлку и за недозволенное пользованіе ею въ теченіе часа виновный уплачивалъ штрафъ въ 5 фунтовъ стерлинговъ

(около 50 рублей). Это сдѣлало невозможнымъ всякое улучшеніе этой несовершенной машины. Затѣмъ, устройство подобнаго рода машины вообще сопряжено было въ то время съ затрудненіями. Ученые не интересовались этимъ вопросомъ. Лордъ Сомерсетъ не принадлежалъ къ ихъ кругу и его сочиненіе было слишкомъ поверхностнымъ для того, чтобы обратить на себя вниманіе англійскаго ученаго общества. Послѣ смерти Сомерсета его работы повидимому вскорѣ были забыты.

60. Еще до отмѣны Нантскаго Эдикта протестанты во Франціи подвергались сильнымъ преслѣдованіямъ и не мало выдающихся лицъ покинуло Францію, стремясь найти покой. Къ нимъ принадлежалъ и Дени Папенъ (род. въ 1647 году въ Блуа). Онъ изучалъ въ Парижѣ медицину и физику и по окончаніи курса медицины получилъ ученую степень, но впослѣдствіи всецѣло посвятилъ себя изученію физики. Большое вліяніе на него имѣлъ Гюйгенсъ, жившій въ то время въ Парижѣ (ср. I, § 161). Гюйгенсъ принялъ молодого талантливаго врача къ себѣ въ ассистенты и поручилъ ему произвести рядъ опытовъ съ безвоздушнымъ пространствомъ. Папенъ въ 1674 году издалъ сочиненіе объ этихъ опытахъ, содержащее подробное описаніе воздушнаго насоса, который употреблялся при нихъ (ср. I, § 255). Статья посвящена Гюйгенсу и изъ введенія видно, что ученикъ и учитель, бывшій старше его, находились въ дружескихъ отношеніяхъ. Папенъ пишетъ: „эти опыты принадлежатъ Вамъ, такъ какъ почти всѣ ихъ я выполнилъ по Вашему побужденію при Вашей помощи. Но такъ какъ я знаю, что эти опыты служатъ Вамъ лишь для удовольствія и что Вы едвали рѣшились бы ихъ опубликовать, то не боюсь, что Вы отнесетесь неодобрительно, если я сдѣлаю это“.

Рис. 60



Дени Папенъ.

61. Бойль уже въ 1660 году замѣтилъ, что тепловатая вода начинаетъ кипѣть, если ее помѣстить подъ колоколъ воздушнаго насоса и выкачать воздухъ. Папенъ подтвердилъ справедливость этого наблюденія и показалъ путемъ опытовъ, что температура кипѣнія жидкости зависитъ отъ давленія на ея поверхность. Если давленіе уменьшается, то точка кипѣнія понижается и, наоборотъ, при увеличеніи давленія она повышается (ср. термобарометръ Фаренгейта, § 23).

Эта зависимость точки кипѣнія отъ давленія находитъ важное примѣненіе въ такъ называемомъ Папиновомъ котлѣ, который Папенъ описываетъ въ сочиненіи, появившемся въ 1681 году въ Лондонѣ. За годъ до того Папенъ пріѣхалъ въ Лондонъ, гдѣ былъ дружески принятъ Бойлемъ, введшимъ его въ кругъ членовъ Royal Society.

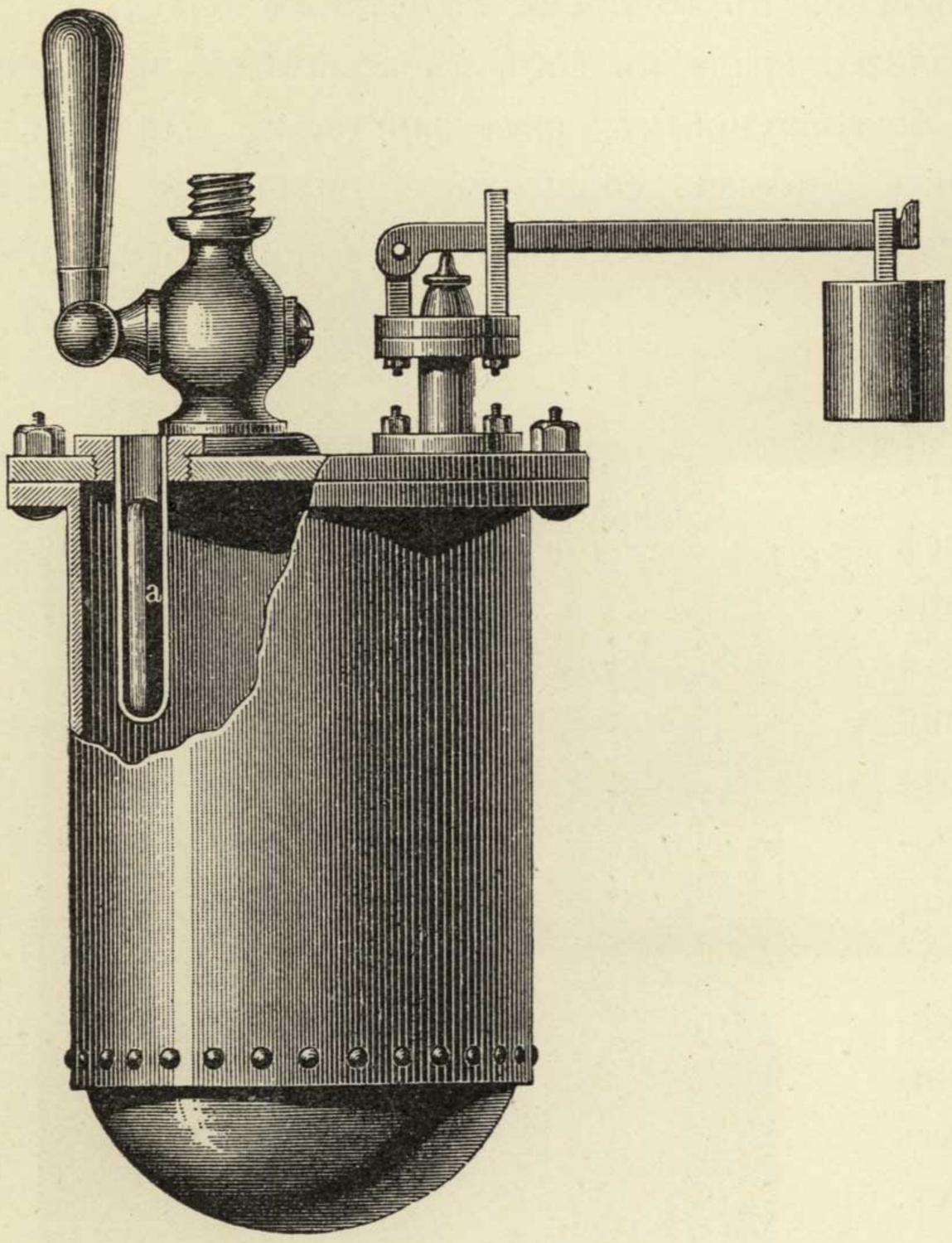
Паровой котелъ Папена предназначался первоначально для выварки костей,

http://mathesis.ru

что требуетъ температуры выше 100° С. Котелъ этотъ въ существенномъ представляетъ небольшой паровой котелъ (рис. 61), т. е. металлическій резервуаръ съ герметически завинчивающейся крышкой. На крышкѣ находится важнѣйшая часть всего прибора, предохранительный клапанъ,—короткая трубка, закрытая клапаномъ, на который нажимаетъ рычагъ съ грузомъ. Температура, при которой вода въ котлѣ закипаетъ, зависитъ отъ величины давленія на клапанъ, а это давленіе опредѣляется длиной рычага и величиной груза.

Еслибы, напримѣръ, клапанъ, на который давитъ паръ, имѣлъ въ поперечномъ сѣченіи 1 *квсм*, то давленіе воздуха на него равнялось бы 1 *кг*. Паръ выходитъ лишь въ томъ случаѣ, если онъ въ свою очередь производитъ давленіе въ 1 *кг*. Это имѣетъ мѣсто при 100° —обычной точкѣ кипѣнія воды. Если же нагрузить рычагъ клапана такъ, чтобы онъ давилъ на клапанъ съ силой въ 2 *кг*, то паръ будетъ въ состояніи выйти лишь тогда, когда онъ окажетъ на клапанъ давленіе въ два килограмма. Это имѣетъ мѣсто при 120·6° С.

Рис. 61



Папиновъ котелъ.

Если передвинуть грузъ дальше къ концу рычага, то клапанъ будетъ давить съ еще бо̀льшей силой и давленіе пара должно быть еще сильнѣе, чтобы приподнять его. Поэтому съ помощью предохранительнаго клапана можно регулировать давленіе пара и тѣмъ предотвратить взрывъ котла. Безъ предохранительнаго клапана паровой котелъ является очень опаснымъ приборомъ и безъ этого приспособленія онъ не нашелъ бы того широкаго примѣненія, какое имѣетъ.

62. Въ 1680 году Папенъ сталъ членомъ Royal Society, но уже въ слѣдующемъ году онъ оставилъ Лондонъ, чтобы основаться въ Венеціи, гдѣ должна была быть учреждена Академія по образцу Royal Society. Въ 1684 году онъ снова вернулся въ Лондонъ. Во время своего вторичнаго пребыванія здѣсь Папенъ въ качествѣ Curator of Experiments (завѣдывающаго опытами) Королевскаго Общества произвелъ многочисленные опыты. Въ это же время онъ набросалъ планъ, какъ воспользоваться давленіемъ воздуха въ качествѣ двигательной силы.

Папенъ хотѣлъ при помощи силы воды выкачивать воздухъ изъ длиннаго цилиндра,—тогда давленіе воздуха должно было вгонять поршень въ пустой цилиндръ съ большой силой. Онъ представилъ этотъ планъ Royal Society. Это по-

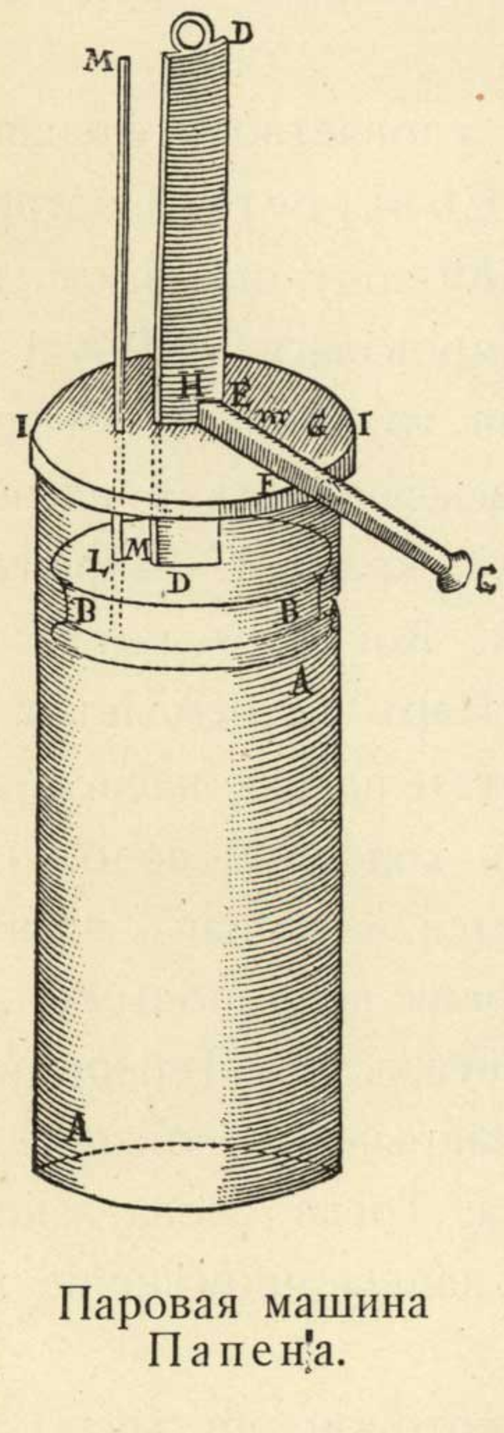
http://mathesis.ru

слѣднее было, однако, того мнѣнія, что было бы цѣлесообразнѣе воспользоваться силою самой воды непосредственно, чѣмъ черезъ посредство сложнаго механизма съ воздушнымъ насосомъ, поршнемъ и т. д. Папенъ, ожидавшій, что его проектъ встрѣтитъ одобреніе и признаніе, счелъ за оскорбленіе это отрицательное отношеніе Royal Society. Въ концѣ 1687 году онъ, слѣдуя приглашенію ландграфа Гессенскаго, переселился въ Марбургъ на должность профессора математики.

Здѣсь онъ снова занялся своими планами о воздушной машинѣ. Онъ старался получить пустое пространство подъ поршнемъ цилиндра. Гюйгенсъ предлагалъ взрывать порохъ подъ поршнемъ въ то время, когда онъ находится у самаго дна цилиндра. Взрывъ подымалъ бы поршень вверхъ, и такъ какъ газы, получающіеся изъ пороха, могли отчасти уйти, то подъ поршнемъ образовалось бы разрѣженное пространство и давленіе воздуха могло бы дѣйствовать на поршень. Но пороховая машина не могла имѣть практическаго значенія. Передъ каждымъ отдѣльнымъ движеніемъ поршня требовалось вводить новый зарядъ пороха въ цилиндръ, а разрѣженіе воздуха получалось очень незначительное.

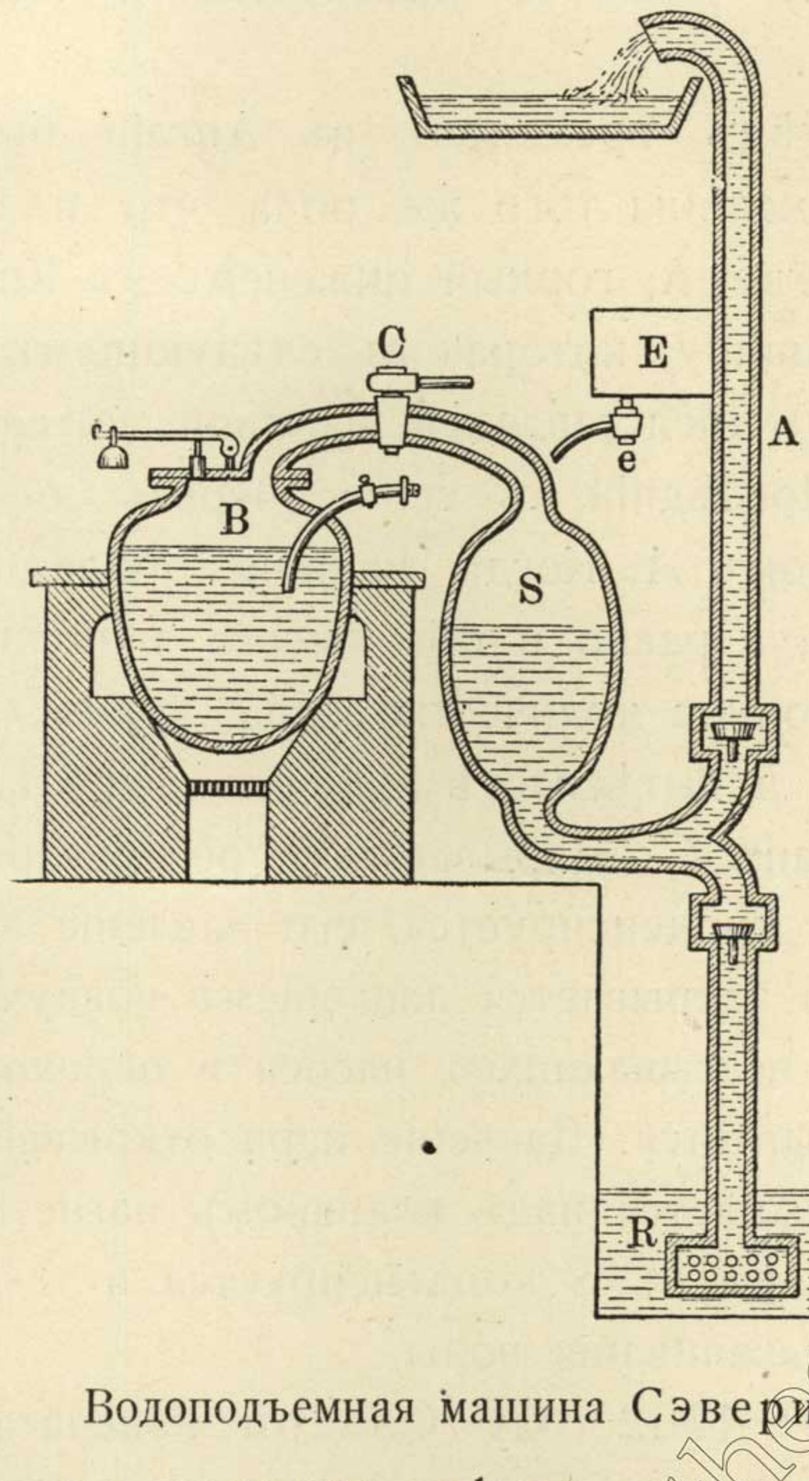
Папенъ замѣнилъ силу пороха давленіемъ пара. Устройство его прибора видно изъ рис. 62. *A* представляетъ желѣзный цилиндръ, въ которомъ двигался поршень

Рис. 62



Паровая машина Папена.

Рис. 63



Водоподъемная машина Сэвери.

B, плотно прилегая къ стѣнкамъ. Поршень, въ которомъ имѣлось сквозное отверстіе *L*, прижимался стержнемъ къ дну цилиндра. Небольшое пространство между поршнемъ и дномъ цилиндра наполнялось водой черезъ отверстіе *L*, которое закрывалось стержнемъ *M*. Затѣмъ цилиндръ ставили на огонь. Вода обращалась въ паръ и гнала поршень вверхъ. Когда поршень достигалъ высшаго положенія, онъ задерживался крючкомъ *C*, который при помощи пружинки *G* заскакивалъ въ выемки стержня *D*. Когда

http://mathesis.ru

крючокъ зацѣплялся, огонь удаляли. Пространство подъ поршнемъ теперь было наполнено паромъ. Затѣмъ цилиндръ охлаждался обливаніемъ холодной водой. Какъ только паръ конденсировался, давленіе внутри цилиндра уничтожалось и поршень подъ давленіемъ воздуха въ 1 *кг* на каждый квадратный сантиметръ вгонялся въ цилиндръ, какъ только удаляли тормазный крючокъ ударомъ по *C*. Папенъ думалъ сдѣлать стержень поршня зубчатымъ, чтобы, зацѣпляя за зубчатое колесо, онъ могъ приводить въ движеніе машину.

Однако, эта машина, дѣйствовавшая воздушнымъ давленіемъ (атмосферная машина), двигалась, какъ легко себѣ представить, крайне медленно. Сначала вода должна была испариться, поршень долженъ былъ подняться и зацѣпиться за тормазный крючокъ. Затѣмъ слѣдовало удалить огонь, охладить цилиндръ и наконецъ снять тормазный крючокъ, чтобы давленіе воздуха могло опустить поршень. Папенъ построилъ центробѣжные мѣха, съ помощью которыхъ онъ въ короткое время могъ разводить подъ цилиндромъ сильный огонь. Этимъ онъ достигъ того, что его машина давала одно движеніе поршня въ минуту.

Другимъ недостаткомъ машины было то, что она потребляла несоразмѣрно большое количество топлива. Поэтому машина не получила практическаго примѣненія. Ландграфъ Гессенскій такъ же, какъ и Royal Society, отказались содѣйствовать дальнѣйшему развитію предпріятія и Папенъ долженъ былъ на время оставить свои планы.

63. Тѣмъ временемъ въ Англіи была построена удовлетворительная водоподъемная машина того же рода, что и машина лорда Сомерсета. Построилъ ее Томасъ Сэвери, горный инженеръ въ Корнуоллѣ. Въ 1689 году онъ взялъ патентъ на свою машину, которая въ слѣдующемъ году демонстрировалась въ Royal Society. *B* (Рис. 63) представляетъ паровой котелъ, соединенный трубкою *C* съ резервуаромъ *S*. Послѣдній въ свою очередь соединяется съ всасывающимъ и нагнетательнымъ насосомъ *A*. Когда машина приводится въ движеніе, кранъ *C* закрытъ и резервуаръ *S*, а равно и оба насоса наполнены воздухомъ. Когда въ котлѣ образуется достаточное количество пара, кранъ *C* открываютъ. Паръ устремляется въ резервуаръ *S* и вытѣсняетъ воздухъ черезъ клапанъ нагнетательнаго насоса наружу. Затѣмъ кранъ *C* закрываютъ и резервуаръ *S* обливаютъ холодной водой (изъ *E*). Когда паръ конденсируется, его давленіе въ *S* уничтожается и клапанъ нагнетательнаго насоса закрывается давленіемъ воздуха; въ то же время вода подымается надъ клапаномъ всасывающаго насоса и переходитъ въ резервуаръ *S*. Теперь кранъ *C* снова открывается. Давленіе пара открываетъ верхній и закрываетъ нижній клапанъ и вода подымается надъ клапаномъ нагнетательнаго насоса. Тогда снова закрываютъ кранъ *C*, паръ въ *S* конденсируется и т. д. Эта машина нашла примѣненіе въ шахтахъ для выкачиванія воды.

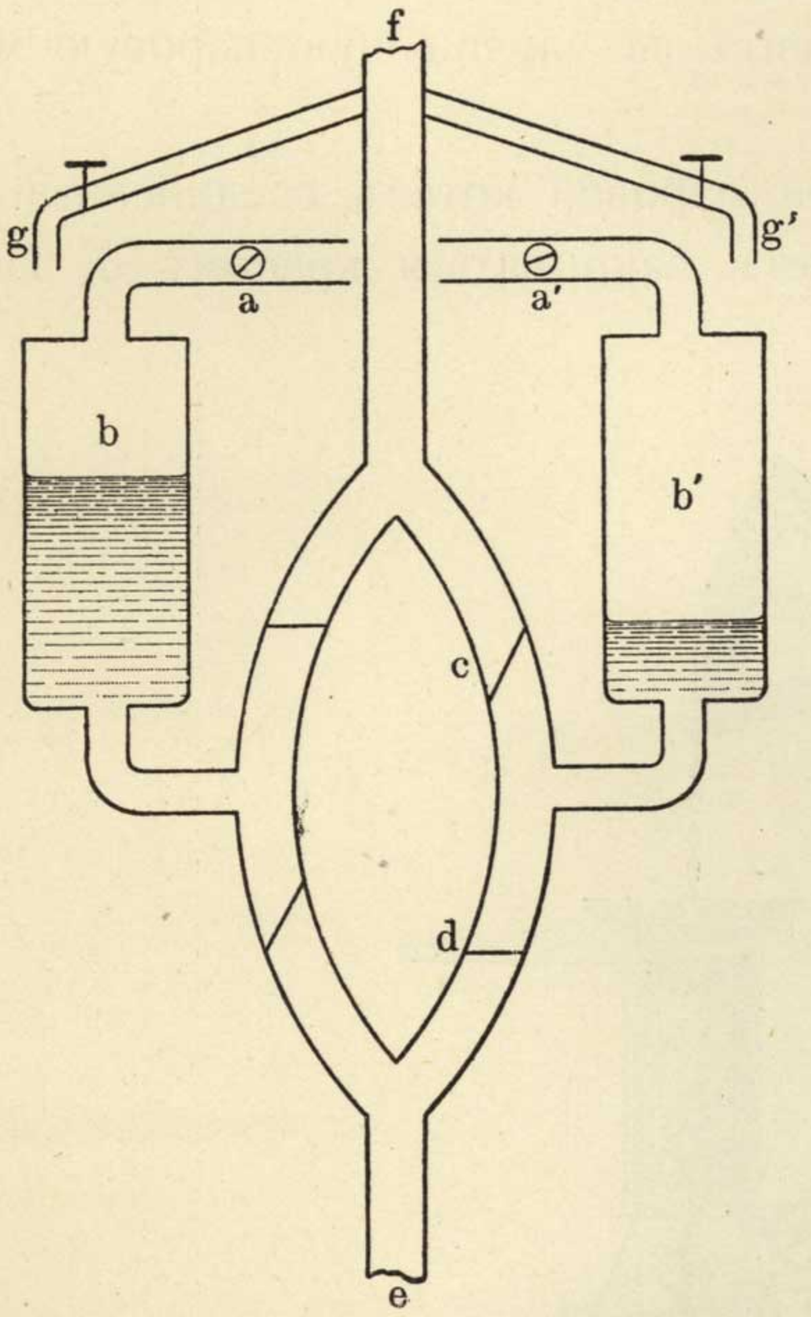
64. Въ 1702 году Сэвери напечаталъ книгу, въ которой описывалъ два существенныхъ усовершенствованія въ своей машинѣ. Одно изъ нихъ состояло въ томъ, что резервуаръ *S* былъ замѣненъ двумя резервуарами *b* и *b'* (рис. 64), соединенными съ одной стороны съ котломъ, а съ другой съ отвѣтвленіями всасывающаго и нагнетательнаго насосовъ *ef*. Въ то время какъ паръ, входящій черезъ кранъ *a'*, вытѣсняетъ воду изъ одного резервуара въ трубку *f*, другой резервуаръ всасываетъ воду черезъ трубку *e* вверхъ. Затѣмъ кранъ для пара *a'* и кранъ для холодной

http://rcin.org.pl

воды *g* закрываются, а кранъ для пара *a* и кранъ для холодной воды *g′* открываются. Теперь вода въ *b* вытѣсняется въ трубку *f*, а резервуаръ *b′* черезъ *e* всасываетъ воду вверхъ. Этимъ путемъ работоспособность машины была увеличена почти вдвое.

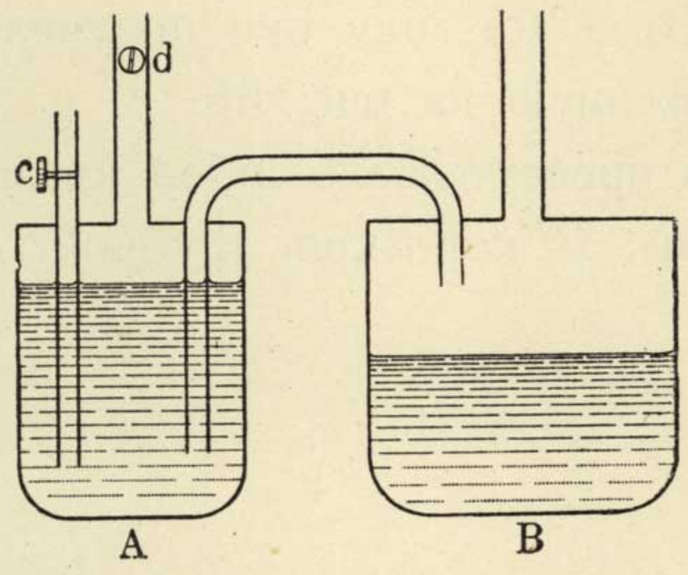
Другое усовершенствованіе заключалось во введеніи питательнаго котла. Такъ какъ вода въ котлѣ расходуется (рис. 63), то машину приходилось время отъ времени останавливать для наполненія котла. Сэвери и соединилъ собственно машинный котелъ *B* указаннымъ на рис. 65 способомъ съ нѣсколько меньшимъ котломъ *A*.

Рис. 64



Паровая водоподъемная машина двойного дѣйствія Сэвери.

Рис. 65



Питательный котелъ Сэвери.

Если въ послѣднемъ довести воду до кипѣнія, то давленіе пара будетъ вытѣснять ее въ котелъ *B*. Такимъ образомъ машинному котлу вода, и притомъ нагрѣтая, могла доставляться безъ остановки машины.—Соединительная трубка между котлами имѣла кранъ, который запирался при впусканіи воды черезъ *c* въ питательный котелъ *A*.

Въ этой формѣ машина получила большое распространеніе. Правда, она расходовала много топлива, такъ какъ большая часть водяного пара при соприкосновеніи съ холодной водой конденсировалась. Но машина была превосходнымъ насосомъ, а большой расходъ топлива не имѣетъ значенія въ угольныхъ копяхъ.

Томасъ Сэвери утверждалъ, что онъ изобрѣлъ свою машину самостоятельно. Онъ разсказываетъ, что случайное наблюденіе навело его на мысль воспользоваться конденсаціей пара для подъема воды. Онъ будто бы нагрѣлъ бутылку отъ вина, въ которой еще сохранилось немного вина, и послѣ того, какъ она наполнилась паромъ, опустилъ ее горлышкомъ въ холодную воду. Замѣтивъ, что вода вошла въ бутылку, онъ заключилъ, что и въ шахтахъ можно подымать воду при помощи водяного пара. Сэвери подозрѣвали въ томъ, что онъ позаимствовалъ эту идею изъ сочиненій Сомерсета. Но въ подтвержденіе правильности этого предположенія не было приведено никакого доказательства. Во всякомъ случаѣ Сэвери былъ первымъ, кто построилъ годную для работы водоподъемную машину.

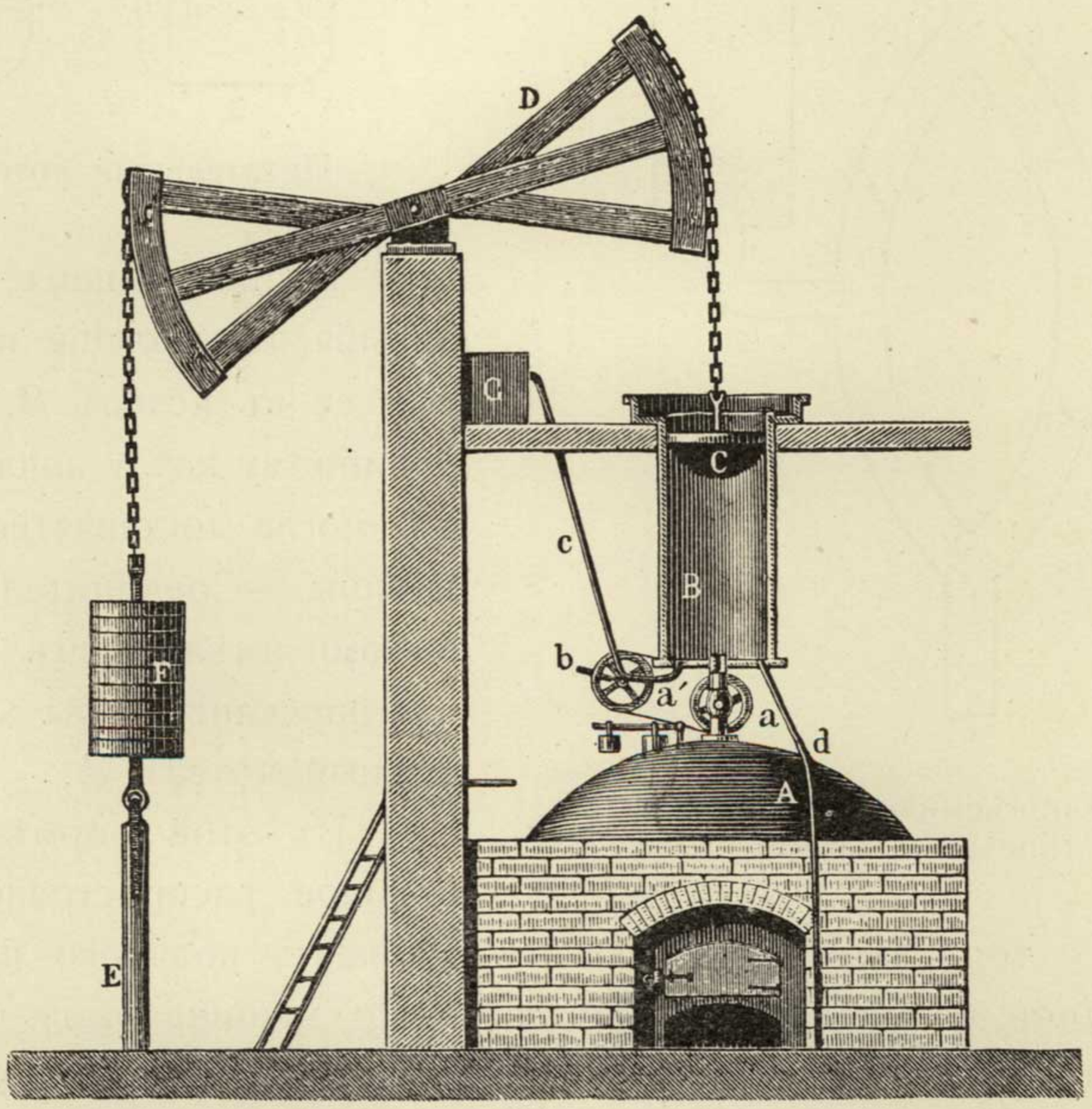
65. Независимо отъ Сэвери и, быть можетъ, одновременно съ нимъ торговецъ

http://mathesis.ru

желѣзомъ Ньюкоменъ и стекольщикъ Каули въ Дартмутѣ работали надъ вопросомъ о томъ, какъ воспользоваться водянымъ паромъ въ качествѣ движущей силы. Они спросили совѣта у тогдашняго секретаря Royal Society Роберта Гука. Онъ не совѣтовалъ имъ слѣдовать идеѣ Папена, но прибавилъ, однако, что еслибы они сумѣли быстро получать безвоздушное пространство подъ поршнемъ, то этимъ задача была бы разрѣшена. Удивительно, что Гукъ не былъ лучше знакомъ со свойствомъ пара конденсироваться, такъ сказать, въ одинъ моментъ. Два работника продолжали, однако, свой трудъ и вскорѣ добились того, что могли получить патентъ на свою машину. Такъ какъ въ этомъ патентѣ шла рѣчь о полученіи безвоздушнаго пространства при помощи пара, то Сэвери долженъ былъ получить свою долю въ этомъ дѣлѣ. Въ 1705 году они получили общій патентъ на улучшенную паровую машину, изображенную на рис. 66.

A представляетъ собой вмазанный въ печь паровой котелъ, соединенный съ цилиндромъ *B* короткой трубкой. Трубка можетъ закрываться краномъ *a*. Поршень

Рис. 66



Атмосферная паровая машина Ньюкомена.

соединяется цѣпью съ однимъ концомъ коромысла *D*. На другомъ концѣ его находится противовѣсъ *F* и къ нему прикрѣплена штанга поршня *E*.

Первоначально на днѣ цилиндра былъ лишь одинъ кранъ и цилиндръ охлаждался обрызгиваніемъ снаружи холодной водой (изъ резервуара *G*). Машина дѣйствовала слѣдующимъ образомъ. Когда поршень занималъ самое низкое положеніе, кранъ *a* открывали. Противовѣсъ *F* подымалъ поршень и пространство подъ нимъ наполнялось паромъ. Когда затѣмъ поршень доходилъ до своего высшаго положенія, кранъ *a* закрывали и открывали кранъ для холодной воды. Цилиндръ охлаждался и паръ вслѣдствіе этого конденсировался. Затѣмъ поршень вслѣдствіе давленія воздуха опу-

http://materesis.ru

скался внизъ, а противовѣсъ съ штангой насоса подымался вверхъ. Тогда клапанъ *a* снова открывался, паръ устремлялся въ цилиндръ и т. д. Вода, получавшаяся отъ конденсаціи пара, собиралась на днѣ цилиндра и отъ времени до времени выпускалась черезъ упомянутый кранъ.

66. Эта машина основана, слѣдовательно, на томъ же принципѣ, что и машина Папена. Движущей силой является давленіе воздуха, а паръ служитъ лишь для образованія пустого пространства подъ поршнемъ. Но эта машина имѣла то большое преимущество передъ машиной Папена, что котелъ и цилиндръ въ ней были отдѣлены другъ отъ друга и что котелъ при конденсаціи пара не охлаждался. Передъ машиной Сэвери она имѣла то большое преимущество, что паръ приходилъ въ соприкосновеніе не съ холодной водой, а только съ поршнемъ и цилиндромъ.

67. Лишь шесть лѣтъ спустя послѣ выдачи патента, въ 1711 году, первая машина подобнаго рода была примѣнена въ Вульвергамптонѣ. Нѣкоторую трудность представляло устройство поршня, который не пропускалъ бы пара. Ньюкоменъ и Каули старались достичь этого, покрывая поршень слоемъ воды. Этотъ способъ дѣлать поршень герметическимъ повелъ къ важному открытію. Однажды машина пошла быстрѣе обыкновеннаго и при ближайшемъ разсмотрѣніи оказалось, что вода просочилась въ цилиндръ, что вызвало мгновенную конденсацію пара, какъ только кранъ для него былъ закрытъ. Это подало поводъ соединить резервуаръ холодной воды съ цилиндромъ при помощи трубки *c*; и вмѣсто того, чтобы охлаждать цилиндръ снаружи, конденсацію пара стали получать, впуская струю холодной воды черезъ кранъ *b* въ цилиндръ, когда поршень занималъ высшее положеніе. Такимъ образомъ не только ускорился ходъ машины, но и уменьшился расходъ на нее. Цилиндръ теперь охлаждался далеко не такъ сильно, какъ раньше, и вслѣдствіе этого для его прогрѣванія теперь требовалось гораздо меньше пара.

Воду, которую вбрызгивали въ цилиндръ, нужно было, разумѣется, удалять изъ него. Ньюкоменъ и Каули разрѣшили эту задачу очень остроумнымъ, хотя не всегда легко выполнимымъ образомъ. Именно, они провели отъ дна цилиндра трубку *d* въ колодезь, въ которомъ вода находилась на глубинѣ не менѣе 32 футовъ (10 *м*). Черезъ эту трубку и отводилась вода, образовавшаяся при конденсаціи пара, и такъ какъ трубка дѣйствовала подобно водяному барометру, ибо въ цилиндрѣ было безвоздушное пространство, то вода стояла на одной и той же высотѣ (ср. I, § 234).

Паровые котлы первыхъ машинъ Ньюкомена и Каули не были снабжены предохранительнымъ клапаномъ Папена, какъ изображено на рисункѣ. Однако, клапанъ этотъ вошелъ во всеобщее употребленіе съ 1718 года.

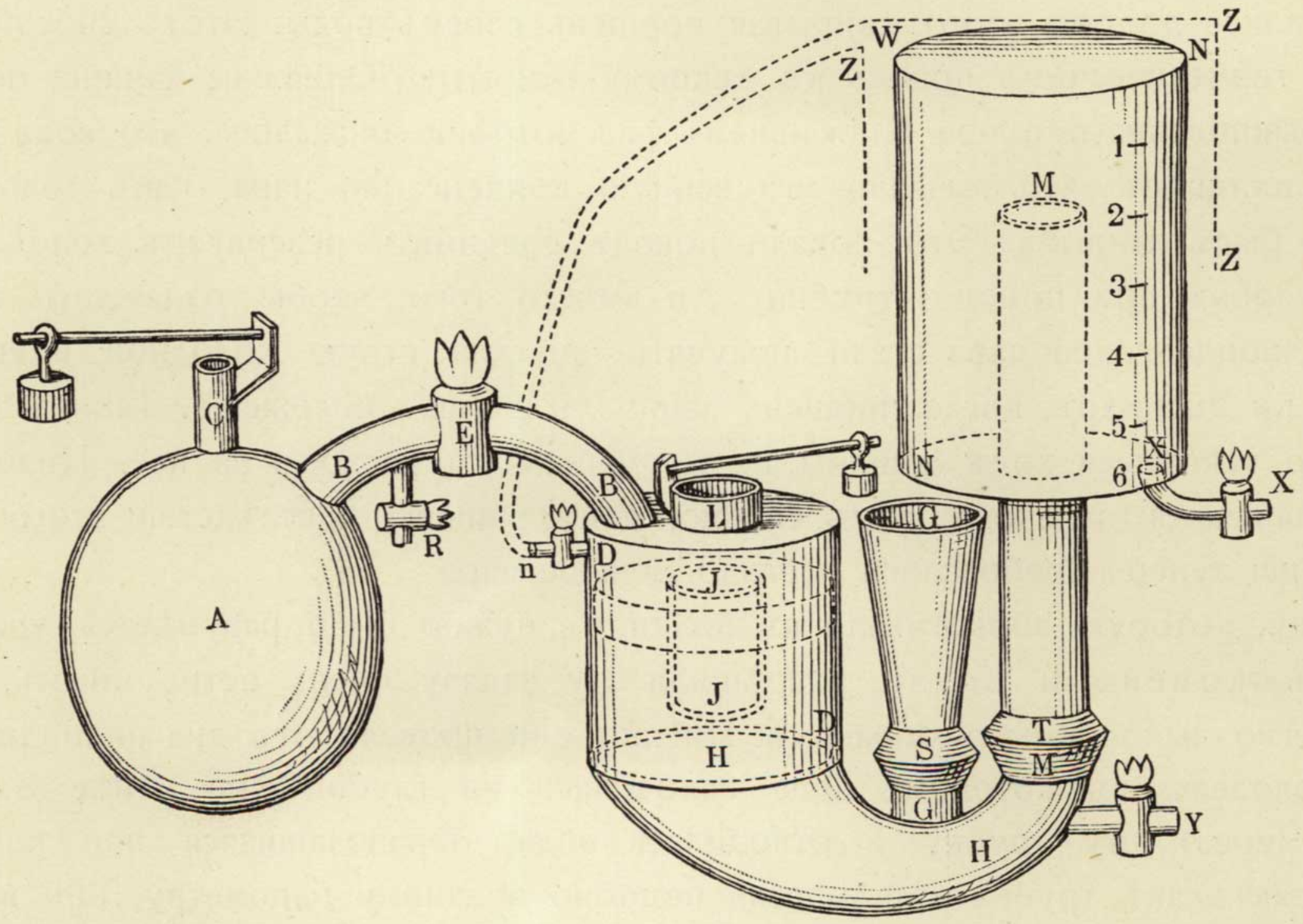
68. Для хода атмосферной машины весьма важно, чтобы ея краны открывались и закрывались въ надлежащій моментъ. Кранъ для пара нужно открывать какъ разъ въ тотъ моментъ, когда поршень занимаетъ самое низкое положеніе. Точно такъ же кранъ для холодной воды долженъ быть открытъ какъ разъ въ тотъ моментъ, когда поршень занимаетъ наивысшее положеніе. Наблюденіе за кранами должно было бы всецѣло поглощать вниманіе рабочаго. При машинѣ въ Вульвергамптонѣ работа эта исполнялась молодымъ человѣкомъ по имени Гёмфри Поттеромъ. Онъ замѣтилъ, что кранъ слѣдовало поворачивать, когда коромысло занимало опредѣленное положеніе. Соединивъ при помощи бечевокъ краны съ коромысломъ, онъ достигъ того, что они

http://mathesis.ru

въ надлежащій моментъ открывались и закрывались сами, благодаря движенію коромысла, безъ всякаго участія съ его стороны. Впослѣдствіи бечевки были замѣнены другимъ болѣе прочнымъ приспособленіемъ, основаннымъ на томъ же принципѣ.

69. Такимъ образомъ, Ньюкоменъ и Каули осуществили первоначальный планъ Папена. Они построили атмосферную машину, снабженную поршнемъ, въ которой паръ быстро конденсировался. Папенъ построилъ между тѣмъ паровую машину, въ которой движущей силой являлось давленіе не воздуха, а пара. Въ 1705 году Папенъ получилъ отъ Лейбница рисунокъ машины Сэвери. По всей вѣроятности, онъ читалъ уже ея описанія, которыя были опубликованы въ различныхъ періодическихъ изданіяхъ въ томъ же 1705 году. Самъ онъ, однако, не говоритъ, что былъ знакомъ съ машиной Сэвери, но въ 1707 году онъ опубликовалъ сочиненіе о „Новомъ способѣ поднимать воду при помощи огня“, въ которомъ находится рис. 67. *A* представляетъ

Рис. 67



Папинова машина высокаго давленія.

паровой котелъ съ предохранительнымъ клапаномъ. Онъ соединенъ трубкой съ цилиндромъ, который въ свою очередь снабженъ предохранительнымъ клапаномъ и въ которомъ движется полый мѣдный поршень безъ стержня. *G* есть воронка съ клапаномъ, открывающимся книзу. Когда въ воронку наливается вода, она проходитъ въ цилиндръ и подымаетъ поршень вверхъ, если кранъ въ верхней части цилиндра открытъ такъ, что воздухъ можетъ выйти наружу. Когда поршень достигаетъ верхней точки, кранъ для воздуха закрывается и открывается кранъ для пара въ соединительной трубкѣ между котломъ и цилиндромъ. Паръ устремляется въ цилиндръ, давитъ на поршень и вытѣсняетъ воду въ подъемную трубку *M*, въ которой находится клапанъ, открывающійся кверху. Затѣмъ доступъ пара прекращается (паръ отсѣкается), кранъ для воздуха открывается, въ воронку снова наливается вода и описанный процессъ повторяется. Папенъ, слѣдовательно, такъ же, какъ и Сэвери, пользовался

http://mathesis.ru

давленіемъ пара для подъема воды, но у него паръ не дѣйствуетъ непосредственно на воду. Онъ хорошо зналъ, что холодная вода конденсируетъ много пара, и это надлежало устранить при помощи полаго поршня, въ который вводился нагрѣтый желѣзный болтъ. Папенъ не конденсируетъ также отработавшаго (мятаго) пара, какъ это дѣлаетъ Сэвери, а даетъ ему выйти черезъ кранъ для воздуха, когда поршень подымается. Этимъ мятымъ паромъ онъ хотѣлъ воспользоваться для того, чтобы нагрѣвать воду, прежде чѣмъ вливать ее въ воронку *G*. Его машина дѣйствовала съ большой силой, такъ какъ она работала подъ большимъ давленіемъ пара. Взрыва машины нечего было опасаться въ виду того, что и котелъ и цилиндръ были снабжены предохранительнымъ клапаномъ.

Какъ видно изъ заглавія упомянутой статьи, машина должна была служить главнымъ образомъ для подъема воды. Папенъ, однако, носился съ планомъ воспользоваться ею, какъ машиной для передвиженія. Поэтому онъ установилъ надъ подъемной трубкой воздушную камеру *WN*, въ которой воздухъ сильно сжимался давленіемъ вводимой въ него воды. Когда затѣмъ кранъ воздушной камеры открывался, вода вытекала изъ него съ большой силой и могла приводить въ движеніе колеса съ лопатками. Папенъ хотѣлъ примѣнить эту машину, чтобы приводить въ движеніе корабли. Еще во время своего перваго пребыванія въ Англіи онъ видѣлъ на Темзѣ колесное судно, которое приводилось въ движеніе лошадиной силой и по своей скорости превосходило всѣ весельныя судна. Теперь колеса должны были приводиться въ движеніе силой пара. Не найдя въ Германіи желаемой поддержки, Папенъ рѣшился (въ 1707 году) снова переселиться въ Лондонъ. Онъ хотѣлъ взять съ собой въ Англію изготовленное въ Касселѣ (на Фульдѣ) судно. Но когда онъ прибылъ съ этимъ судномъ въ Мюнденъ, у него возникла ссора съ тамошними морякими, которые въ плаваніи парового судна по Фульдѣ усмотрѣли нарушеніе своихъ правъ и разрушили судно. Въ Лондонѣ ему также пришлось испытать неудачи. Онъ не встрѣтилъ ожидаемой поддержки со стороны Royal Society и вскорѣ впалъ въ нужду. Насколько извѣстно, онъ до самой смерти велъ печальное существованіе. Папенъ умеръ въ Лондонѣ, по всей вѣроятности въ 1712 г.

70. Въ исторіи паровой машины Папенъ долженъ быть отмѣченъ, какъ первый, сдѣлавшій важный шагъ въ дѣлѣ превращенія паровой машины въ общую силовую машину (моторъ), хотя его машина высокаго давленія обладала меньшей работоспособностью, чѣмъ атмосферная машина Ньюкомена и Каули. Послѣдніе взяли свою идею изъ перваго проекта Папена, въ которомъ поршень составлялъ самую существенную часть машины. И въ своей машинѣ высокаго давленія Папенъ пользуется, какъ двигательной силой, давленіемъ пара, дѣйствующимъ на поршень. Этимъ въ общихъ чертахъ и опредѣляется устройство паровой машины. Хотя Папенъ не сумѣлъ преодолѣть многихъ трудностей, представившихся при выполненіи проекта, все же онъ первый установилъ, что употребленіе поршня и примѣненіе давленія пара совмѣстно должны служить основой устройства паровой машины.

Папинова машина высокаго давленія расходовала слишкомъ много пара. Идея полаго поршня, который бы нагрѣвался желѣзнымъ болтомъ, была, очевидно, непрактична, такъ какъ машину приходилось каждый разъ останавливать, чтобы вложить вновь нагрѣтый болтъ въ цилиндръ. Кромѣ того, дѣйствіе нагрѣтаго поршня было

http://rutracker.org

незначительно. При каждомъ движеніи поршня вода проникала въ цилиндръ и охлаждала его, такъ что входившій паръ долженъ былъ снова нагрѣвать его.

Впрочемъ, атмосферная машина Ньюкомена и Каули также имѣла свои крупные недостатки. Научились, правда, герметически пригонять поршень при помощи кожи и сала, такъ что вода не могла проникать въ цилиндръ и охлаждать его, но конденсація пара подъ поршнемъ путемъ введенія воды влекла за собой большую потерю пара. Главнымъ же недостаткомъ было то, что атмосферная машина не извлекала пользы изъ давленія пара. Для того чтобы машина дѣйствовала съ большой силой, цилиндръ долженъ былъ быть широкимъ. Но чѣмъ шире былъ цилиндръ, тѣмъ больше былъ расходъ пара. Машина нашла примѣненіе въ качествѣ насоса для выкачиванія воды только въ шахтахъ. Лишь послѣ того какъ свойства пара были изслѣдованы точнѣе, паровая машина могла получить важное значеніе для всего развитія культуры, не имѣющаго себѣ равнаго въ прошломъ.

71. Народы древности, какъ уже было упомянуто, не дѣлали никакого различія между воздухомъ и паромъ. Такъ же мало они знали и о существованіи различныхъ газовъ. Но какъ Геронъ и Витрувій, такъ и Соломонъ де Ко при своихъ изслѣдованіяхъ водяного пара несомнѣнно установили, что этотъ послѣдній во многихъ отношеніяхъ отличается отъ обыкновеннаго воздуха. Однако, опредѣленное различіе между воздухомъ и паромъ было проведено лишь въ началѣ XVII вѣка Іоганномъ Баптистомъ ванъ-Гельмонтомъ. Онъ ввелъ слово „газъ“ и обозначилъ имъ воздухообразное тѣло, при охлажденіи не конденсирующееся въ жидкость. Паръ же, говорилъ онъ, представляетъ воздухообразное тѣло, способное существовать только въ теплотѣ и при охлажденіи конденсирующееся.

Сто лѣтъ спустя Галлей пытался дать объясненіе природѣ водяного пара. Онъ думалъ, что паръ состоитъ изъ маленькихъ пустыхъ водяныхъ пузырьковъ, наполненныхъ разрѣженнымъ воздухомъ. Вслѣдствіе этого паръ легче воздуха и подымается вверхъ. Современникъ Галлея, физикъ Дергемъ утверждалъ даже, что онъ видѣлъ такой пузырекъ въ хорошее увеличительное стекло. Вышеупомянутый профессоръ Вольфъ (§ 23) пытался установить, насколько разрѣженъ воздухъ въ пузырькахъ, а Христіанъ Готлибъ Кратценштейнъ (1723—1795) вычислилъ, что пузырьки имѣютъ въ поперечникѣ $^1/_{50000}$ дюйма. Еще въ настоящее время въ нѣкоторыхъ учебникахъ можно встрѣтить указаніе, что конденсированныя частицы воды въ облакахъ представляютъ собой подобные, наполненные воздухомъ пузырьки. Но такого рода водяные пузырьки не могутъ существовать. На сильно искривленной поверхности ихъ господствовало бы такое сильное давленіе, что они должны были бы моментально сжаться.

72. Академія наукъ въ Бордо назначила въ 1743 году премію за отвѣтъ на вопросъ, почему водяной паръ подымается вверхъ, и двумъ изъ полученныхъ сочиненій была присуждена эта премія, хотя они объясняли явленіе различнымъ образомъ. Авторъ одного изъ нихъ, упомянутый выше Кратценштейнъ, упорно держался теоріи пузырьковъ, напротивъ того, другой авторъ, Георгъ Гамбергеръ далъ совершенно новое объясненіе. Онъ сравнилъ образованіе пара въ воздухѣ съ раствореніемъ твердыхъ тѣлъ въ водѣ. Подобно тому какъ соль при соприкосновеніи съ водой растворяется въ ней, вода растворяется въ воздухѣ при соприкосновеніи съ нимъ. Шарль Леруа (1726—1779) развилъ эту теорію раствора дальше и обратилъ

http://rutheis.ru

вниманіе на то, что воздухъ въ состояніи впитать лишь ограниченный объемъ воды такъ же, какъ и вода растворяетъ только ограниченное количество соли. И подобно тому, какъ соляной растворъ, не растворяющій больше соли, называютъ насыщенным, такъ и онъ говорилъ, что воздухъ, не впитывающій больше воды, насыщенъ водянымъ паромъ.

Если къ насыщенному соляному раствору прибавить соли, то она не растворится, а упадетъ на дно сосуда. Соотвѣтствующее явленіе при насыщенномъ воздухѣ заключается въ томъ, что если ввести въ него еще паръ, то онъ осядетъ въ видѣ капель. Горячая вода растворяетъ больше соли, чѣмъ холодная, и Леруа тотчасъ же вывелъ соотвѣтствующее положеніе: горячій воздухъ растворяетъ больше воды (можетъ содержать больше паровъ), чѣмъ холодный. Поэтому, если температура воздуха понижается, то нерѣдко часть водяного пара осаждается въ видѣ росы.

Когда воздухъ насыщенъ паромъ, то этотъ паръ самъ называется насыщенным паромъ, такъ какъ при малѣйшемъ пониженіи температуры часть его конденсируется въ воду. Если, наоборотъ, нагрѣть насыщенный паръ, то онъ превратится въ такъ называемый ненасыщенный или перегрѣтый паръ, такъ какъ тогда его можно охладить безъ немедленной конденсаціи въ воду. Сначала ненасыщенный паръ превращается въ насыщенный и лишь при дальнѣйшемъ охлажденіи этого послѣдняго происходитъ конденсація его въ воду. Воздухъ всегда содержитъ водяной паръ, но въ очень мѣняющихся количествахъ и, вообще говоря, онъ не насыщенъ. При достаточномъ же охлажденіи воздуха водяной паръ осаждается, т. е. образуется роса, туманъ и облака.

73. Теорія раствора Гамбергера нашла много сторонниковъ. Она была очень проста и наглядно изображала разницу между насыщеннымъ и ненасыщеннымъ паромъ. По этой теоріи легко было также понять, почему вода испаряется гораздо быстрѣе, когда надъ ней проносится струя воздуха, чѣмъ въ томъ случаѣ, когда воздухъ надъ ея поверхностью находится въ покоѣ. Въ самомъ дѣлѣ, въ послѣднемъ случаѣ воздухъ непосредственно надъ поверхностью воды тотчасъ же насыщается паромъ и испареніе вслѣдствіе этого прекращается. Въ первомъ случаѣ, напротивъ, поверхность воды все время приходитъ въ соприкосновеніе со свѣжимъ воздухомъ, который еще не насыщенъ парами и въ состояніи поэтому вобрать въ себя бо́льшее количество паровъ, чѣмъ то, которое въ немъ уже содержится.

Большое затрудненіе для этой теоріи возникло, когда Валлерій Эриксонъ (1709—1785), профессоръ химіи въ Упсальскомъ университетѣ, обратилъ вниманіе на то, что въ безвоздушномъ пространствѣ вода испаряется не только съ такой же легкостью, какъ въ воздухѣ, но даже быстрѣе. Здѣсь, слѣдовательно, не могло быть рѣчи о томъ, что вода растворяется въ воздухѣ. По этому вопросу возникъ продолжительный споръ, которому конецъ былъ положенъ лишь изслѣдованіями Дальтона о давленіи пара (§ 81).

74. Удивительно, что Папенъ, кажется, не изслѣдовалъ ближе кипѣнія, хотя ему и было извѣстно, что точка кипѣнія зависитъ отъ давленія, дѣйствующаго на поверхность воды. Папенъ зналъ, разумѣется, что температура воды во время кипѣнія не измѣняется, но не придавалъ этому явленію особеннаго значенія.

Джозефъ Блэкъ первый изслѣдовалъ это явленіе точнѣе. При нагрѣваніи воды изъ нея прежде всего уходитъ заключающійся въ ней воздухъ. Онъ поднимается

http://mathesis.ru

въ видѣ маленькихъ воздушныхъ пузырьковъ сквозь воду вверхъ (рис. 68). Спустя нѣкоторое время на днѣ сосуда образуется паръ. Но первые пузырьки пара не достигаютъ поверхности воды, а сжимаются по дорогѣ (рис. 69), такъ какъ вся масса воды еще недостаточно нагрѣта. Вслѣдствіе этого вода и сосудъ начинаютъ дрожать, что воспринимается нами, какъ звучащій тонъ. Вода „поетъ“. Это происходитъ непосредственно передъ наступленіемъ кипѣнія. Когда „пѣніе“ прекращается, то вода настолько горяча, что паръ въ пузырькахъ уже не конденсируется по дорогѣ, а подымается на поверхность воды. Во время кипѣнія температура не подымается,

Рис. 68



Пузырьки воздуха въ водѣ.

Рис. 69



Кипѣніе воды.

хотя огонь непрерывно отдаетъ тепло водѣ. Это старались объяснить тѣмъ, что паръ образуется только на днѣ сосуда, а остальная вода достигаетъ необходимой для парообразованія температуры, лишь приходя въ соприкосновеніе съ дномъ. Еслибы вся масса воды была нагрѣта до точки кипѣнія одновременно, то малѣйшаго притока теплоты было бы достаточно, чтобы въ одинъ моментъ превратить всю массу воды въ паръ.

Блэкъ зналъ, что явленіе кипѣнія не вполнѣ объясняется этой теоріей. Онъ пишетъ: „Я легко могу показать, что парообразованіе требуетъ большого количества тепла даже въ томъ случаѣ, когда вода уже нагрѣта до такой температуры, что малѣйшее повышеніе ея превращаетъ воду въ паръ. Еслибы это было иначе, то вся масса воды взорвалась бы, т. е. превратилась бы въ паръ въ одно мгновеніе, и притомъ съ такой силой, которую можно было бы сравнить съ силой пороха. Но я могу показать, что требуемое большое количество теплоты поглощается паромъ во время его образованія, причемъ онъ не нагрѣвается настолько, чтобы это могло быть замѣчено по показанію термометра.

„Когда котелъ съ водой ставятъ на огонь, то съ перваго момента и до начала кипѣнія теплота быстро переходитъ черезъ котелъ въ воду.

„Допустимъ, что вода нагрѣвается въ теченіе пяти минутъ на 20° Ф. Но было замѣчено, что переходъ тепла отъ одного тѣла къ другому при прочихъ равныхъ

http://mathesis.ru

условіяхъ происходитъ соотвѣтственно разности ихъ температуръ. Такъ какъ температура воды во время кипѣнія не повышается замѣтнымъ образомъ (по сравненію съ температурой пламени), то мы можемъ принять, что въ данномъ случаѣ теплота во время кипѣнія переходитъ въ воду приблизительно въ такомъ же количествѣ, какъ и до кипѣнія. Это допущеніе вполнѣ справедливо, такъ какъ я часто наблюдалъ, что для нагрѣванія воды до 162° Ф требуется 40 минутъ, если за послѣднія пять минутъ до кипѣнія она нагрѣвалась на 20° Ф.

„Еслибы обычный взглядъ (на кипѣніе) былъ правиленъ, то вся масса воды должна была бы превращаться въ паръ въ теченіе нѣсколькихъ минутъ. Получилось бы огромное расширеніе, достаточно сильное для того, чтобы взорвать на воздухъ домъ.

Сколько я помню себя, во мнѣ всегда жило смутное представленіе о томъ, что обычное пониманіе процесса парообразованія несовмѣстимо съ фактами, и я думаю, что это казалось и многимъ другимъ, наблюдавшимъ кипѣніе воды. Но это представленіе не было достаточно ясно, пока я не сдѣлалъ своего опыта надъ таяніемъ льда“ (§ 48).

Блэку было ясно, что опредѣлить расходъ тепла при испареніи гораздо труднѣе, чѣмъ при таяніи. Онъ думалъ, что методъ наблюденія времени не дастъ хорошаго результата. Но когда одинъ винокуръ сообщилъ ему, что онъ достовѣрно знаетъ, сколько жидкости можетъ дать его перегонный аппаратъ въ часъ при полной исправности, то Блэкъ всетаки попытался рѣшить эту задачу такимъ путемъ.

75. Прежде всего онъ убѣдился въ томъ, что если вода доведена до кипѣнія и поставлена на равномѣрный огонь, то въ равные промежутки времени получается одинаковое количество пара. Затѣмъ онъ опредѣлилъ время, которое было необходимо для того, чтобы извѣстная масса воды, равномѣрно нагрѣваемая, начала кипѣть, и время, которое требовалось для того, чтобы вода на томъ же пламени совершенно испарилась.

Примѣръ. Для фунта воды при 10° С требуется одна четверть часа, чтобы закипѣть, и шесть четвертей часа отъ начала кипѣнія, чтобы совершенно испариться. Чтобы нагрѣть 1 ф. воды отъ 10° С до точки кипѣнія, требуется 90 единицъ тепла. Въ четверть часа, слѣдовательно, огонь передаетъ водѣ 90 единицъ тепла. Въ теченіе шести четвертей часа, пока продолжалось кипѣніе, вода получила $90 \times 6 = 540$ единицъ тепла. Онѣ пошли исключительно на то, чтобы превратить въ паръ одинъ фунтъ воды.

Блэкъ нашелъ не 540 единицъ, а значительно меньшее число. Что эта теплота идетъ дѣйствительно на превращеніе воды въ паръ, Блэкъ доказалъ простымъ, но остроумнымъ опытомъ. Онъ нагрѣлъ воду въ закрытомъ сосудѣ (Папиновомъ котлѣ) значительно выше 100°С, затѣмъ снялъ сосудъ съ огня и далъ пару выйти. Такъ какъ теперь температура воды была выше 100°С, то согласно прежнему взгляду на процессъ кипѣнія, вся масса воды должна была бы превратиться въ паръ, если только для него было достаточно мѣста. Но этого не случилось. Напротивъ, съ выходомъ пара температура воды упала до 100° С. Образовалось лишь такое количество пара, которое соотвѣтствовало количеству тепла, поглощенному водой на нагрѣваніе выше 100° С. Этотъ прекрасный опытъ хорошо дополняетъ опытъ Блэка съ переохлажденнымъ термометромъ Фаренгейта (§ 49).

http://mathesis.ru

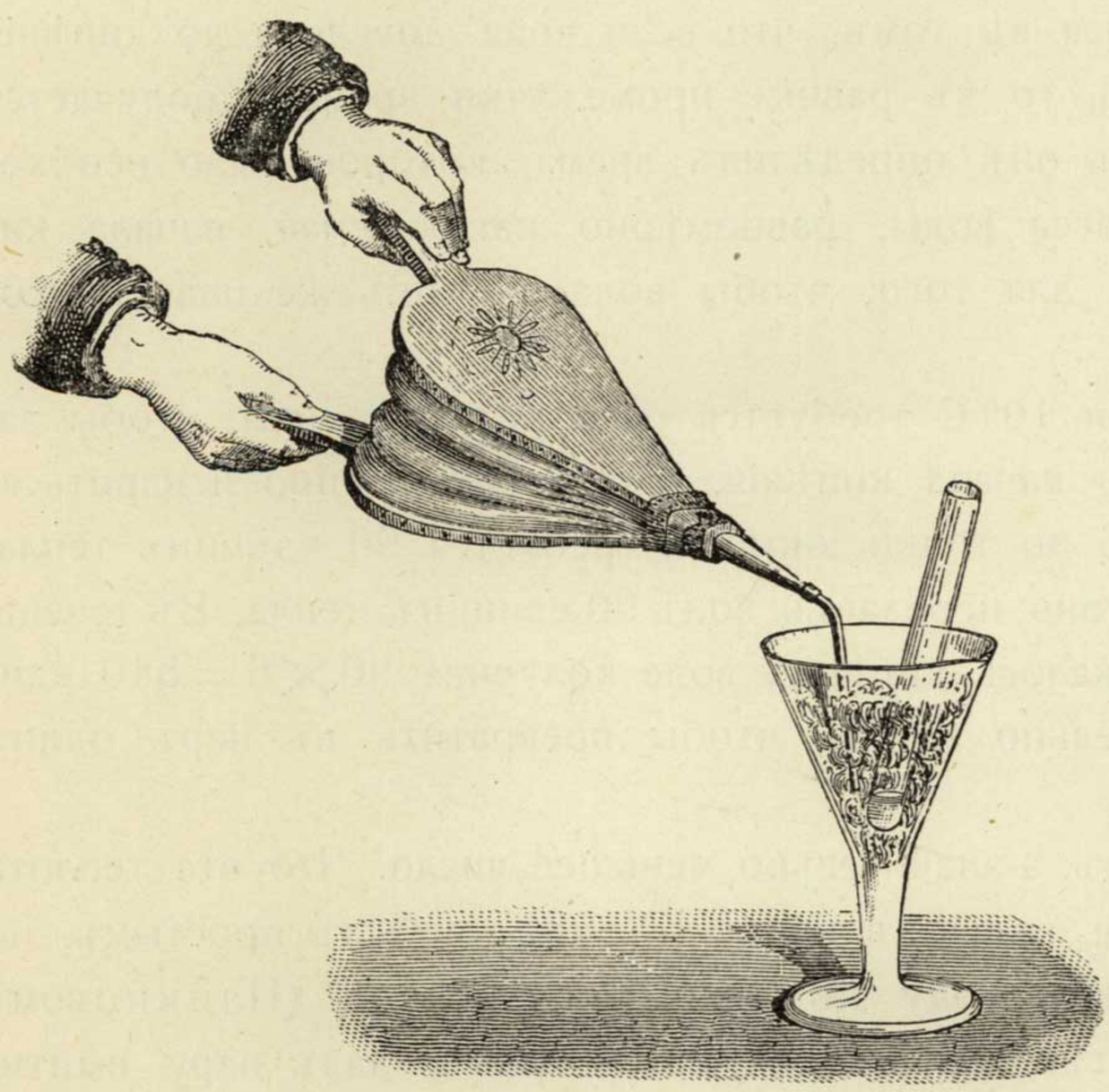
Джэмсъ Ваттъ, бывшій въ дружескихъ отношеніяхъ съ Блэкомъ, произвелъ описанный опытъ слѣдующимъ образомъ:

Въ открытомъ Папиновомъ котлѣ онъ кипятилъ воду такимъ образомъ, что испареніе понижало уровень воды на одинъ дюймъ въ каждые полчаса. Затѣмъ онъ прекращалъ кипяченіе и прибавлялъ столько воды, сколько ея испарилось; потомъ снова ставилъ котелъ на огонь, горѣвшій ровнымъ пламенемъ съ прежней силой. Когда кипѣніе начиналось, онъ закрывалъ кранъ, служившій для выхода пара, и оставлялъ котелъ въ такомъ положеніи въ теченіе получаса. Послѣ этого онъ открывалъ кранъ, выпускалъ паръ въ продолженіе двухъ минутъ и уровень воды снова понижался на одинъ дюймъ.

Такимъ образомъ теплота, поглощенная водой въ теченіе получаса, могла, смотря по обстоятельствамъ, превратить въ паръ одно и то же количество воды медленно въ теченіе получаса или же быстро въ теченіе двухъ минутъ. Для превращенія въ паръ опредѣленнаго количества воды (при 100^0 C) всегда необходимо одно и то же количество тепла.

76. Приведенное Блэкомъ доказательство того, что на испареніе расходуется теплота, т. е. что при немъ получается охлажденіе, подтверждалось различными прежними наблюденіями. Такъ Бойль наблюдалъ, что тепловатая вода, которая закипаетъ подъ колоколомъ воздушнаго насоса и вслѣдствіе этого быстро испаряется, въ то же время быстро охлаждается. Учитель Блэка, профессоръ Кулленъ (§ 47), производившій различные опыты надъ тепловыми явленіями, указалъ на то, что летучая жидкость всегда холоднѣе окружающей среды. Онъ наблюдалъ, напримѣръ, что эѳиръ подъ колоколомъ воздушнаго насоса испарялся такъ быстро, что его температура падала ниже точки замерзанія воды. И безъ воздушнаго насоса можно заморозить воду путемъ испаренія эѳира. Въ тонкостѣнную пробирку наливаютъ немного воды и ставятъ ее въ сосудъ, содержащій эѳиръ (рис. 70). Эѳиръ заставляютъ быстро испаряться, вдувая въ него воздухъ. Каждый воздушный пузырекъ наполняется парами эѳира и поэтому охлаждаетъ его, такъ какъ при испареніи расходуется теплота, которая въ данномъ случаѣ заимствуется изъ самого эѳира. Спустя короткое время эѳиръ, а вслѣдствіе этого и вода, охлаждается настолько, что послѣдняя замерзаетъ.

Рис. 70



Холодъ при испареніи эѳира.

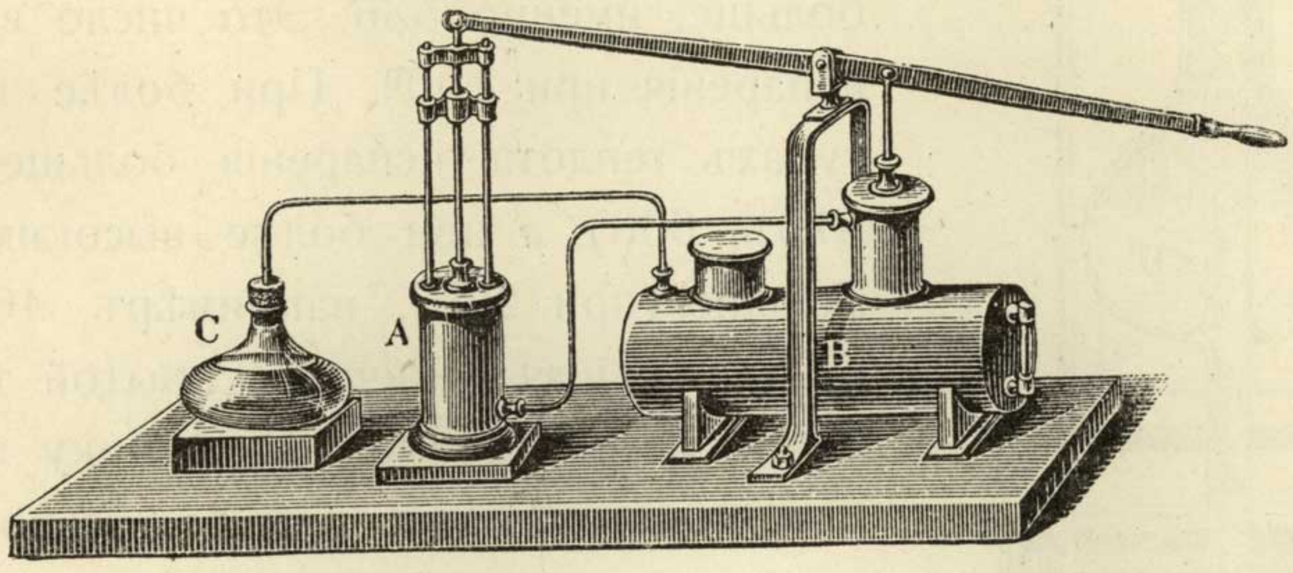
Вода можетъ замерзнуть и въ силу собственнаго испаренія, если только позаботиться о томъ, чтобы воздухъ и паръ не дѣйствовали на поверхность воды. На этомъ основана машина для приготовленія льда, построенная инженеромъ Э. Карре.

http://mathesis.ru

Колба *C* (рис. 71) при помощи изогнутой трубки соединяется съ свинцовымъ цилиндромъ *B*, содержащимъ крѣпкую сѣрную кислоту, которая жадно поглощаетъ водяные пары. Кромѣ того, свинцовый цилиндръ соединяется трубкой съ воздушнымъ насосомъ *A*. Когда насосъ приводится въ дѣйствіе, давленіе воздуха въ сосудѣ съ сѣрной кислотой и въ колбѣ уменьшается и вслѣдствіе этого вода сильно испаряется и охлаждается. Поглощеніе водяного пара сѣрной кислотой ускоряется тѣмъ, что рычагъ воздушнаго насоса приводитъ въ движеніе приспособленіе, которымъ кислота безпрерывно перемѣшивается.

77. Блэкъ показалъ также, что въ парѣ дѣйствительно содержится большое количество теплоты, которая ушла на парообразованіе и которая снова обнаруживается,

Рис. 71



Машина Карре для приготовленія льда.

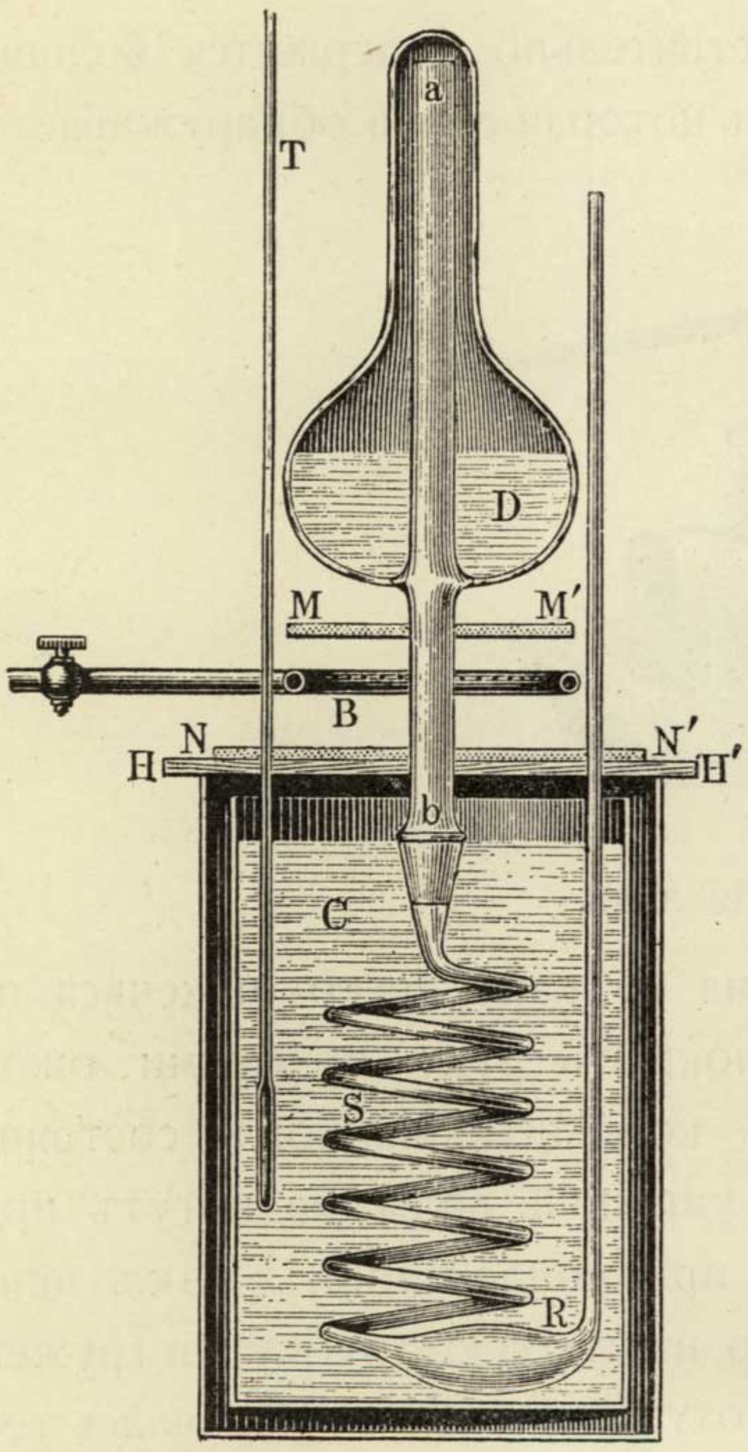
когда паръ конденсируется въ воду. Онъ указывалъ на то, какъ легко обжечься паромъ. Небольшая струя пара изъ чайника можетъ покрыть руку пузырями ожога даже въ томъ случаѣ, когда пара такъ мало, что въ конденсированномъ состояніи онъ составляетъ едва четверть капли. Тысяча капель кипящей воды не могутъ произвести того же дѣйствія. Чтобы опредѣлить теплоту при конденсаціи, Блэкъ испарялъ фунтъ воды и пропускалъ паръ чрезъ спирально изогнутую трубку, погруженную въ воду. Паръ конденсировался и выдѣлялъ теплоту. Эта теплота равнялась теплотѣ испаренія. Итакъ, паръ при своемъ образованіи связываетъ теплоту, а при конденсаціи выдѣляетъ то же самое количество тепла.

Теплоту при конденсаціи различные физики опредѣляли впослѣдствіи при помощи различныхъ методовъ. Приборъ, устроенный для этого Бертло, изображенъ на рис. 72. Колбообразный стеклянный сосудъ *D* сверху закрытъ. Въ дно этого сосуда впаяна открытая съ обоихъ концовъ стеклянная трубка. Нижній конецъ ея пришлифованъ къ спирали *S*. Спираль заканчивается резервуаромъ *R*, къ которому придѣлана загнутая кверху стеклянная трубка. Спираль *S* и резервуаръ *R* помѣщаются въ калориметрѣ (ср. § 53), содержащемъ точно взвѣшенное количество воды, температура которой опредѣляется термометромъ *T*. Сосудъ *D* также отчасти наполненъ водой. Вѣсъ этого сосуда и воды опредѣляется до опыта, причемъ также отмѣчается температура. Затѣмъ *D* нагрѣвается пламенемъ горѣлки *B*, покрытымъ сѣткой *MM'*. Вода начинаетъ кипѣть и паръ черезъ трубку *ab* входитъ въ спираль *S*, гдѣ и конденсируется. Вода скопляется въ резервуарѣ *R*. Когда часть воды испарилась и снова конденсировалась, опытъ прекращаютъ и отмѣчаютъ температуру воды въ калориметрѣ. Количество теплоты, освобождающееся при конденсаціи единицы вѣса воды, опредѣляется простымъ вычисленіемъ.

http://mathesis.ru

Примѣръ. Калориметръ содержитъ 200 *г* воды при температурѣ въ 15° С. Перегоняютъ 2·5 *г* воды и термометръ подымается на 7·65° С. Такимъ образомъ, 200 *г* воды въ калориметрѣ поглотили 1530 единицъ тепла, которыя получились вслѣдствіе обращенія въ жидкость 2·5 *г* пара и отъ охлажденія получившейся воды со 100° до 22·65°, т. е. на 77·35° С. Охлаждаясь на 77·35°, 2·5 *г* воды отдаютъ 193·375 единицъ тепла. Такимъ образомъ, теплота, выдѣляемая при обращеніи въ жидкость 2·5 граммовъ пара, равна 1530 — 193·375 = 1336·625 единицамъ тепла. Слѣдовательно, теплота обращенія въ жидкость 1 *г* пара равна 534·65 единицамъ. Въ дѣйствительности теплота конденсаціи или „связанная“ (скрытая) теплота водяного пара нѣсколько больше, именно 536. Это число вѣрно только для испаренія при 100°. При болѣе низкихъ температурахъ теплота испаренія больше (при 0°, напримѣръ, 606), а при болѣе высокихъ температурахъ меньше (при 200°, напримѣръ, 464).

Рис. 72



Измѣреніе теплоты, выдѣляемой при обращеніи пара въ жидкость.

Большая величина скрытой теплоты водяного пара дѣлаетъ возможными варку пищи и отопленіе при помощи пара. Сравнительно небольшое количество пара содержитъ большое число единицъ тепла и въ небольшомъ паровомъ котлѣ, въ которомъ давленіе можетъ быть незначительно, можно обращать въ паръ большія массы воды. Для нагрѣванія 536 литровъ воды на 1° требуется только 1 *кг* пара.

78. Изслѣдованія Бойля о связанной теплотѣ сильно заинтересовали Джэмса Ватта, который независимо отъ Бойля нашелъ, что для испаренія воды требуется большое количество тепла.

Джэмсъ Ваттъ родился въ 1736 году въ Гринокѣ, гавани Глазго. Его отецъ принадлежалъ къ числу уважаемыхъ гражданъ города. Онъ былъ кораблестроителемъ, отчасти машиностроителемъ и занимался также торговлей. Долгое время онъ жилъ зажиточно, но впослѣдствіи потерялъ свое состояніе, благодаря неудачнымъ спекуляціямъ. Кромѣ Джэмса въ семьѣ было еще двое дѣтей, мальчикъ и дѣвочка, которые умерли въ дѣтскомъ возрастѣ. Джэмсъ росъ слабымъ ребенкомъ и развивался въ умственномъ отношеніи быстрѣе, чѣмъ въ физическомъ, какъ это нерѣдко бываетъ съ одаренными болѣзненными дѣтьми. Ему часто совѣтовали самому развлекать себя и, такъ какъ онъ былъ живымъ и любознательнымъ мальчикомъ, то рано научился читать сознательно, прислушиваться къ разговорамъ взрослыхъ и въ особенности научился великому искусству задавать вопросы. Всегда что-нибудь поглощало его вниманіе. Въ особенности это относилось къ механическимъ приборамъ, къ которымъ онъ выказывалъ большой интересъ еще маленькимъ мальчикомъ. Читая описанія машинъ, онъ старался построить ихъ самъ, что̀ ему нерѣдко и удавалось. Читалъ онъ преимущественно описанія природы и естественную исторію. Очень рано въ немъ развилось пониманіе

красотъ природы и онъ тратилъ свободное время на прогулки по окрестностямъ. Ему хотѣлось видѣть собственными глазами все, о чемъ онъ читалъ въ книгахъ, а свои впечатлѣнія онъ умѣлъ описывать съ такой живостью, что всѣ слушавшіе его сами ощущали ту радость, которую онъ при этомъ переживалъ.

Такъ какъ Ваттъ не получилъ правильнаго образованія и былъ предоставленъ самому себѣ, то онъ занимался самыми различными вещами: ботаникой, минералогіей и геологіей, медициной, химіей, физикой, исторіей и поэзіей. Повсюду онъ старался основательно разобраться въ предметѣ и предпринималъ тщательныя изслѣдованія, насколько то позволяли его средства. Прочитавъ, напримѣръ, описаніе человѣческаго черепа, онъ досталъ его, чтобы изучить его строеніе путемъ собственнаго наблюденія.

18 лѣтъ отъ роду онъ рѣшилъ сдѣлаться механикомъ. Въ 1754 году Ваттъ поступилъ въ ученіе къ механику и оптику въ Глазго. Но здѣсь онъ могъ научиться немногому, такъ какъ его работа состояла главнымъ образомъ въ исправленіи очковъ и т. п. Онъ оставался въ Глазго только годъ, а затѣмъ отправился въ Лондонъ. Здѣсь ему было трудно попасть въ какую-нибудь мастерскую. Цеховыя правила требовали семилѣтняго ученія, на что онъ не хотѣлъ согласиться, такъ какъ зналъ, что можетъ научиться этому ремеслу въ гораздо болѣе короткое время. Наконецъ онъ былъ принятъ въ мастерскую Моргана, въ которой работалъ въ теченіе года. Въ одинъ годъ изъ него вышелъ способный, вдумчивый механикъ, которому поручались самыя тонкія работы; онъ познакомился съ большинствомъ физическихъ и измѣрительныхъ приборовъ.

Рис. 73



Джэмсъ Ваттъ.

По истеченіи этого срока Ваттъ, послѣ короткаго пребыванія въ Гринокѣ, хотѣлъ устроиться механикомъ въ Глазго, но этому снова помѣшали цеховыя правила. У него не было аттестата объ ученіи и потому онъ былъ лишенъ права открыть собственную мастерскую. Несмотря на это, онъ всетаки ее открылъ, такъ какъ былъ назначенъ университетомъ хранителемъ коллекцій и университетскимъ механикомъ.

79. Какъ профессора, такъ и студенты скоро замѣтили, что университетскій механикъ не только хорошо понимаетъ свое дѣло, но обладаетъ большими познаніями и въ различныхъ другихъ областяхъ. Энергія, съ какой онъ стремился къ разрѣшенію всякой задачи, за которую брался, возбуждала удивленіе. Онъ не успокаивался до тѣхъ поръ, пока не находилъ рѣшенія, хотя бы оно требовало много работы и хотя бы ему пришлось изучать иностранные языки, чтобы ознакомиться съ литературой даннаго предмета.

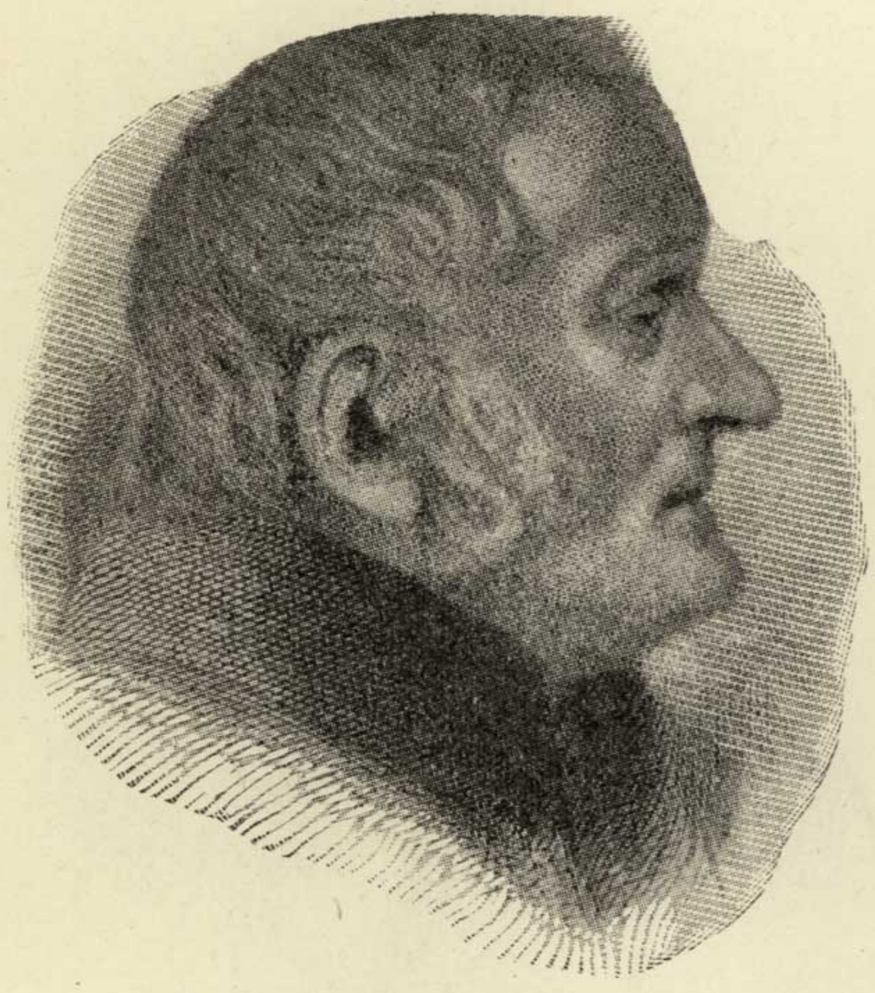
Одной изъ его первыхъ самостоятельныхъ работъ по физикѣ было изслѣдованіе о давленіи или упругости пара при различныхъ температурахъ. Поводомъ къ этой работѣ послужили соображенія о роли пара въ модели машины Ньюкомена, которая находилась въ университетской коллекціи. При этомъ Ваттъ открылъ, что образованіе пара

http://matheses.ru

связано съ затратой теплоты. Но эти соотношенія были уже мастерски разъяснены Бойлемъ. Зато о связи между давленіемъ пара и температурой почти ничего не было извѣстно. Знали только, что это давленіе увеличивается вмѣстѣ съ температурой. При своихъ изслѣдованіяхъ Ваттъ пользовался двумя различными методами, смотря по тому, была ли температура пара выше или ниже 100° С. При температурахъ выше 100° онъ измѣрялъ давленіе пара съ помощью Папинова котла. Температура измѣрялась описаннымъ выше образомъ, а давленіе вычислялось по нагрузкѣ предохранительнаго клапана (§ 61).

При температурахъ ниже 100° С Ваттъ мѣрялъ давленіе пара при помощи ртутнаго барометра. Онъ вводилъ немного воды въ Торричелліеву пустоту и поддерживалъ получавшійся паръ при опредѣленной температурѣ. Давленіе пара измѣрялось непосредственно по пониженію столба ртути.

Рис. 74



Джонъ Дальтонъ.

На результатахъ измѣреній, произведенныхъ Ваттомъ, мы не будемъ долѣе останавливаться, хотя они были гораздо точнѣе, чѣмъ измѣренія И. Г. Циглера, опубликованныя въ 1769 году въ Винтертурѣ. Мы перейдемъ немедленно къ измѣреніямъ Джона Дальтона и Анри Виктора Реньо.

80. Джонъ Дальтонъ, родившійся въ Игльсфильдѣ (Кёмберландъ) въ 1766 году, принадлежалъ къ бѣдной квакерской семьѣ. По окончаніи школы въ родномъ городѣ онъ сдѣлался помощникомъ учителя, а затѣмъ переѣхалъ въ Кендаль къ двоюродному брату, который руководилъ тамъ средней школой. Дальтонъ сдѣлался учителемъ въ этой школѣ, но въ то же время находилъ время продолжать свое образованіе. Онъ особенно интересовался математикой и физикой. Въ 1785 году онъ самъ сталъ во главѣ школы. Около этого времени онъ началъ публиковать самостоятельныя математическія работы. Каждый день онъ производилъ правильныя метеорологическія наблюденія, которыя потомъ продолжалъ до конца своей жизни. Въ 1793 году онъ сдѣлался учителемъ математики въ „колледжѣ“ въ Манчестерѣ. Когда школа въ 1799 году была переведена въ Йоркъ, Дальтонъ отказался отъ своего мѣста и остался въ Манчестерѣ, гдѣ до своей смерти (1844) занимался частными уроками. Къ его ученикамъ принадлежалъ впослѣдствіи столь знаменитый Дж. П. Джауль. Дальтонъ жилъ скромно, но и съ ничтожными средствами сдѣлалъ цѣлый рядъ въ высшей степени важныхъ открытій. Сюда относятся его изслѣдованія о давленіи пара, о давленіи смѣси газовъ и прежде всего его химическія работы, которыя привели къ установленію атомистической теоріи. Онъ сдѣлался членомъ Royal Society, Парижской Академіи и многихъ другихъ ученыхъ обществъ. Въ послѣдніе годы своей жизни онъ пользовался пенсіей отъ государства.

81. Свои наблюденія надъ давленіемъ пара при температурахъ ниже 100° С Дальтонъ, подобно Ватту, производилъ при помощи барометра. Онъ помѣщалъ трубку

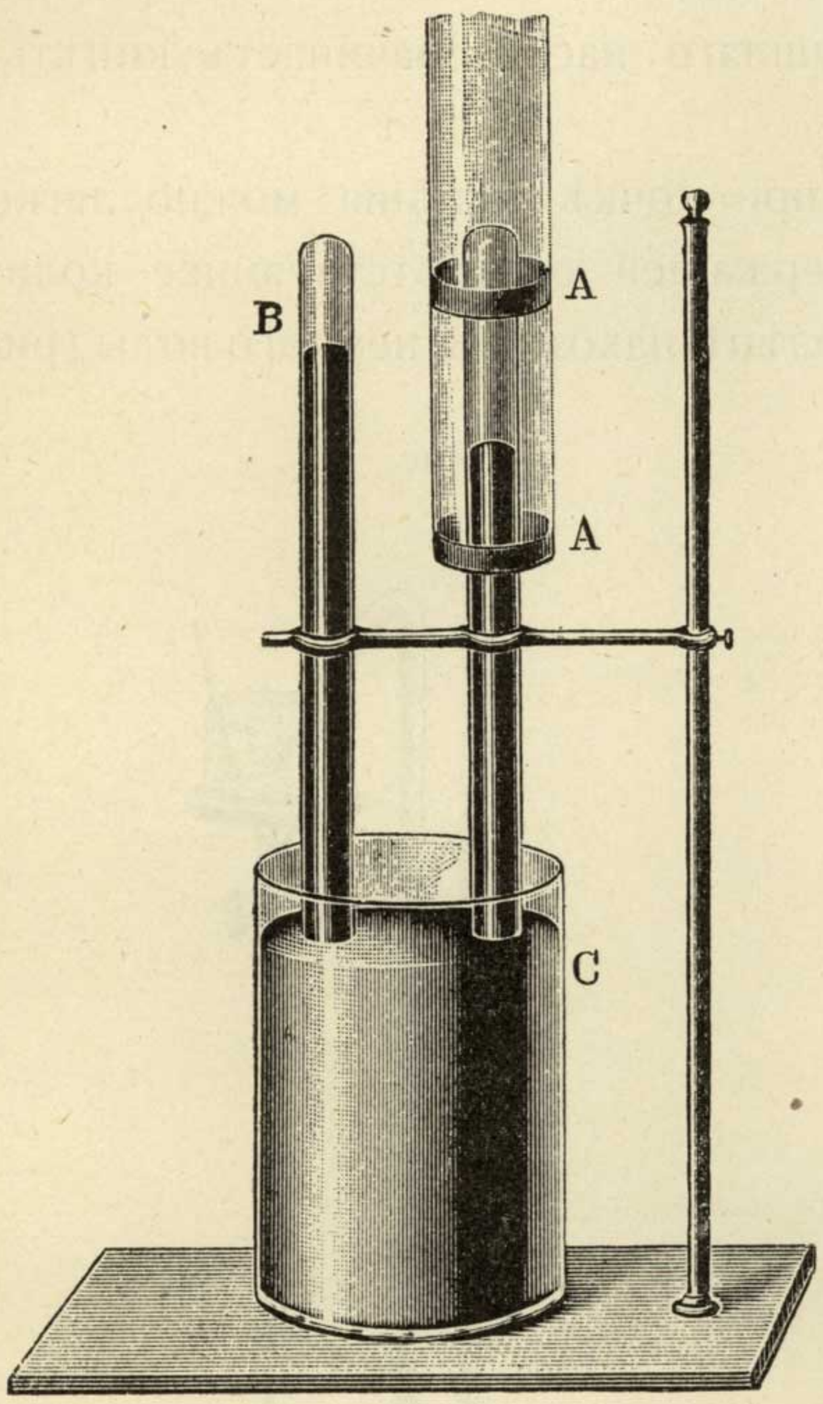
http://mathesis.ru

барометра въ болѣе широкую, которая при помощи двухъ пробковыхъ кружковъ *AA* (рис. 75) плотно держалась на барометрической. Промежутокъ между трубками наполнялся водою опредѣленной температуры. Затѣмъ при помощи пипетки онъ вводилъ немного воды въ барометрическую трубку. Безвоздушное пространство надъ ртутью наполнялось водянымъ паромъ, который своей упругостью понижалъ столбъ ртути. Дальтонъ замѣтилъ при этомъ, что при насыщеніи паромъ пространства надъ ртутью трубку можно погружать въ сосудъ *C* глубже и пространство, занятое паромъ, можетъ уменьшаться безъ увеличенія давленія.

Напротивъ, часть пара при этомъ переходитъ въ воду. Насыщенный паръ, слѣдовательно, нельзя сжимать подобно воздуху. Малѣйшее уменьшеніе объема влечетъ за собой конденсацію.

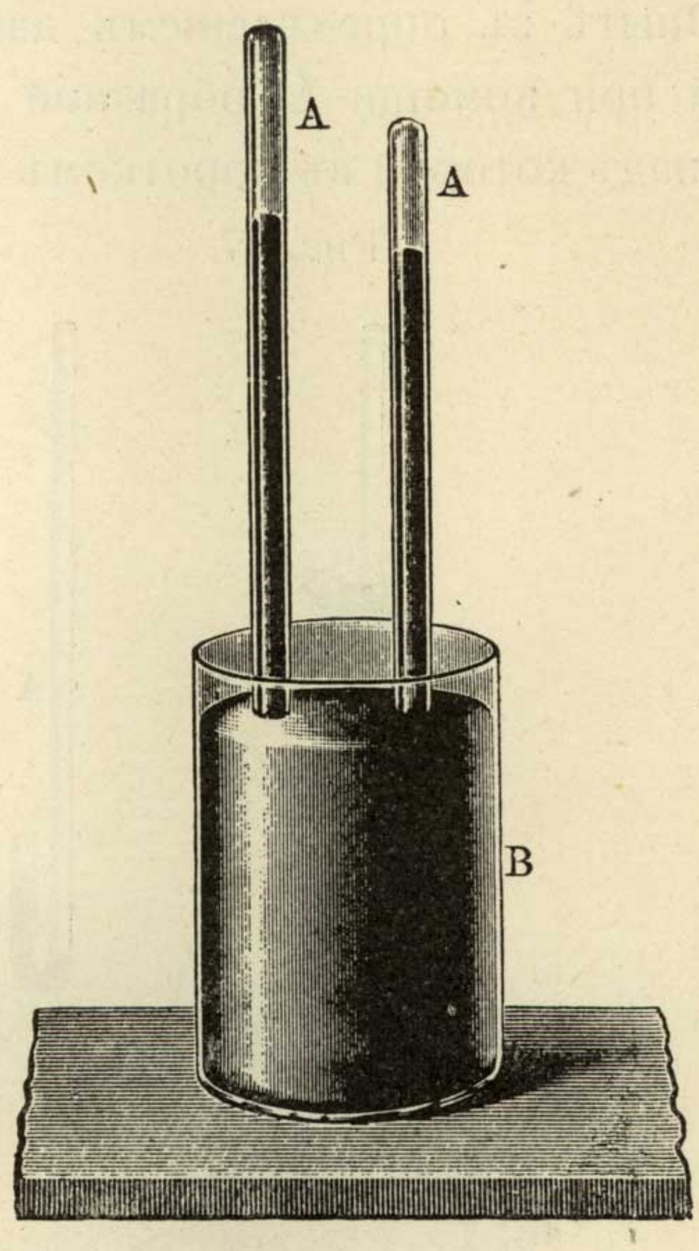
Но совсѣмъ иное происходитъ съ ненасыщеннымъ паромъ. Дальтонъ вводилъ въ Торричелліеву пустоту (*A*, рис. 76) немного воды, именно столько, чтобы тамъ могло испариться еще нѣкоторое количество воды и чтобы, слѣдовательно, безвоздушное пространство было наполнено ненасыщеннымъ паромъ. Этотъ ненасыщенный паръ производитъ на ртуть извѣстное давленіе, которое, однако, меньше давленія, производимаго насыщеннымъ паромъ при той же температурѣ.

Рис. 75



Давленіе насыщеннаго пара.

Рис. 76



Давленіе насыщеннаго пара.

Если теперь погрузить трубку въ ртуть глубже, то объемъ пара сдѣлается меньше, а давленіе больше, но конденсаціи не произойдетъ. При болѣе точномъ изслѣдованіи Дальтонъ нашелъ, что ненасыщенный паръ дѣйствуетъ подобно воздуху, т. е. что его объемъ уменьшается въ томъ же отношеніи, въ какомъ увеличивается давленіе.

http://mathesis.ru

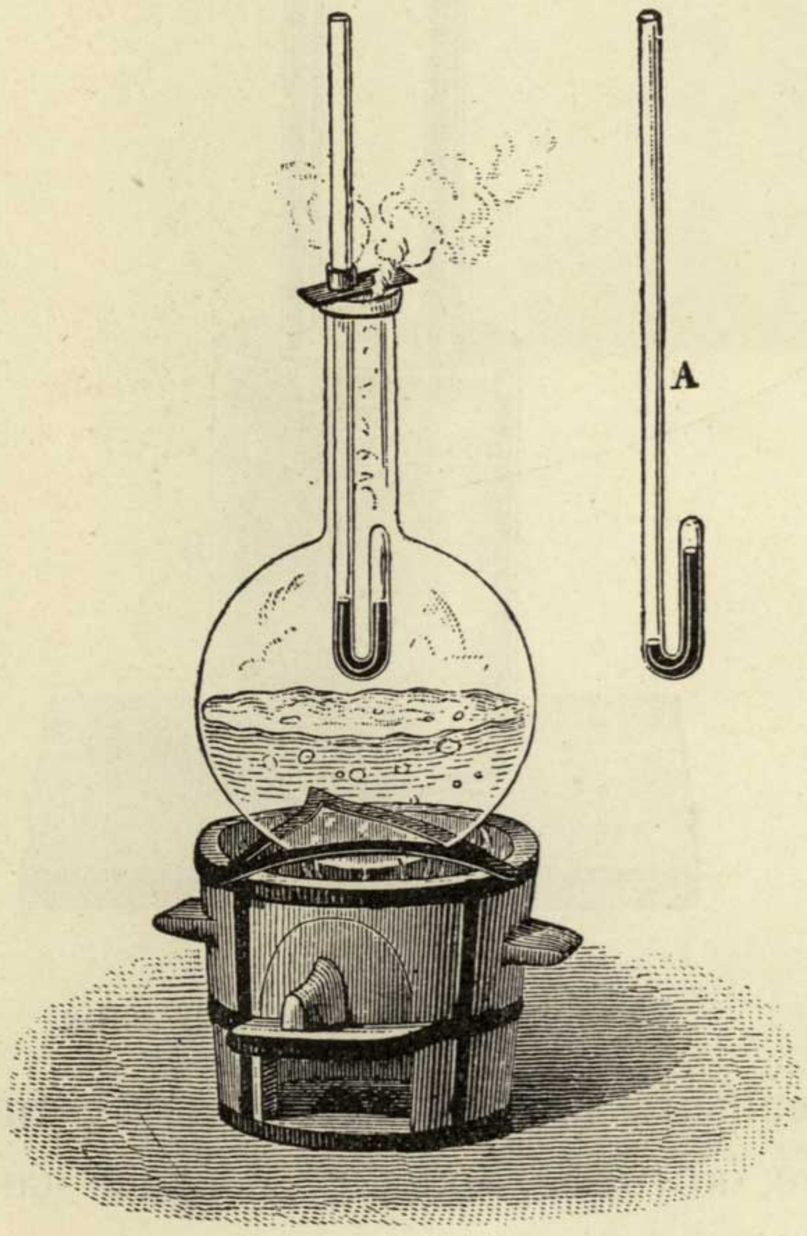
Если погрузить трубку въ ртуть достаточно глубоко, то ненасыщенный паръ переходитъ, наконецъ, въ насыщенный. Съ наступленіемъ этого момента дальнѣйшее уменьшеніе объема не влечетъ за собой увеличенія давленія, а только вызываетъ обращеніе части пара въ воду.

Дальтонъ, такимъ образомъ, нашелъ, что водяной паръ является насыщеннымъ, когда онъ производитъ наибольшее давленіе, возможное при данной температурѣ.

82. Въ одномъ изъ своихъ опытовъ Дальтонъ наполнилъ пространство между барометрической и наружной трубками (рис. 75) кипящей водой. Насыщенный паръ въ безвоздушномъ пространствѣ нагрѣвался такимъ образомъ до 100° С и производимое имъ давленіе было такъ велико, что ртуть опускалась въ трубкѣ до ея уровня въ сосудѣ *C*. Отсюда слѣдуетъ, что давленіе пара при 100° С равно атмосферному давленію, и Дальтонъ вывелъ общее заключеніе, что точкой кипѣнія всякой жидкости является та температура, при которой упругость ея пара равна внѣшнему давленію, дѣйствующему на поверхность жидкости. Этимъ объясняется, почему точка кипѣнія измѣняется съ измѣненіемъ атмосфернаго давленія (или давленія пара въ котлѣ) и почему теплая вода подъ колоколомъ воздушнаго насоса начинаетъ кипѣть, если разрѣдить воздухъ.

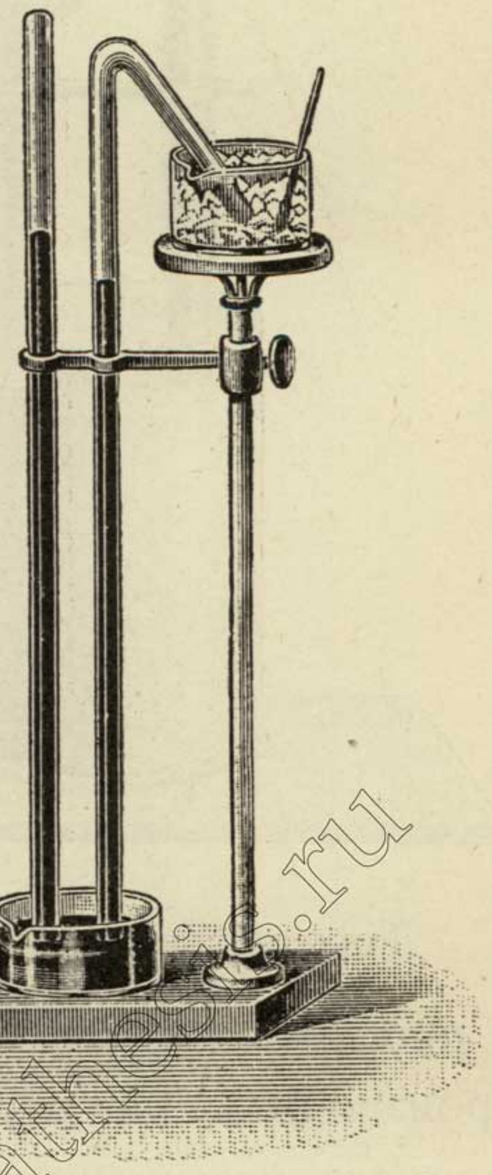
Опытъ съ опредѣленіемъ давленія пара при точкѣ кипѣнія можно легко произвести при помощи *U*-образной трубки, содержащей соотвѣтствующее количество ртути, надъ которой въ короткомъ закрытомъ колѣнѣ находится немного воды (рис. 77).

Рис. 77



Упругость пара при температурѣ точки кипѣнія.

Рис. 78



Упругость пара при температурѣ ниже 0°.

Если вставить эту трубку въ сосудъ съ кипящей водой, то ртуть будетъ стоять въ обоихъ колѣнахъ на одинаковой высотѣ. Отсюда слѣдуетъ, что давленіе насыщеннаго пара, образующагося въ закрытомъ колѣнѣ, равно атмосферному.

http://matnes.ru

83. Вода испаряется также при температурахъ ниже 0°. Дальтонъ показалъ это, поставивъ рядомъ двѣ барометрическія трубки, изъ которыхъ одна была такъ устроена, что ея безвоздушное пространство могло быть окружено охладительной смѣсью. Въ эту послѣднюю трубку вводилась вода, которая наполняла пространство надъ ртутью паромъ. Этотъ паръ производилъ на ртуть давленіе въ соотвѣтствіи съ его температурой. Давленіе, правда, не было велико, но ясно замѣтно даже при очень сильномъ охлажденіи.

Что ледъ испаряется и при температурахъ ниже 0°, легко видѣть изъ того, что мокрое бѣлье легко высыхаетъ даже на морозѣ, а также изъ того, что гладкая поверхность льда, на которой проводятъ (не глубокія) царапины, черезъ нѣкоторое время снова становится гладкой, какъ зеркало.

84. Давленіе пара при температурахъ выше 100° С было очень точно измѣрено упомянутымъ выше физикомъ Реньо.

Анри Викторъ Реньо родился въ Аахенѣ въ 1810 году. Онъ получилъ естественнонаучное образованіе въ Политехнической школѣ въ Парижѣ. До 1840 года онъ занимался преимущественно химіей, а затѣмъ главнымъ образомъ физическими измѣреніями. Реньо былъ геніальный изслѣдователь, который умѣлъ такъ устраивать свои приборы и такъ ставить свои опыты, что неизбѣжныя ошибки дѣлались почти незамѣтными. Въ исторіи естественныхъ наукъ онъ занимаетъ мѣсто въ первомъ ряду, какъ несравненный экспериментаторъ; главнымъ образомъ его работы способствовали тому, что законы, казавшіеся вѣрными при обыкновенныхъ условіяхъ температуры, давленія и т. д., перестали разсматриваться какъ абсолютно истинные законы природы (ср. I, § 259). Кромѣ его измѣренія давленія пара слѣдуетъ упомянуть его опредѣленія удѣльнаго вѣса газовъ, расширенія газовъ и жидкостей отъ теплоты, скрытой теплоты водяного пара, влажности воздуха, сжимаемости газовъ и жидкостей и скорости звука.

Рис. 79



Анри Реньо.

Еще и до настоящаго времени нѣкоторые результаты, полученные Реньо въ различныхъ областяхъ, являются лучшими, какіе имѣются. Важнѣйшія работы его появились между 1847 и 1862 годами.

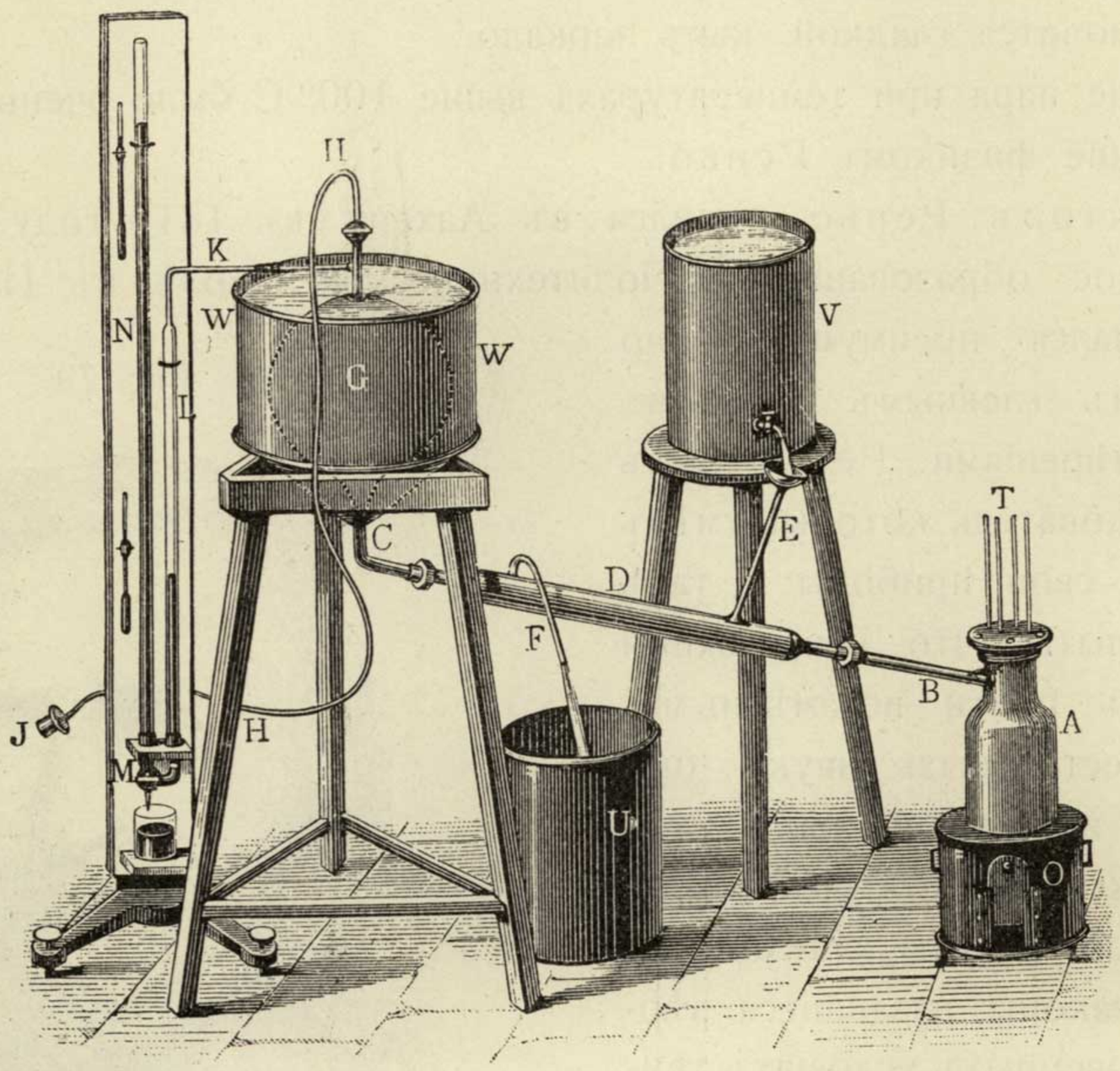
Реньо былъ преподавателемъ химіи и физики въ различныхъ учрежденіяхъ, послѣднимъ изъ которыхъ былъ Collège de France. Въ горномъ вѣдомствѣ онъ также занималъ долгое время важную должность. Съ 1854 года онъ былъ директоромъ фарфоровой фабрики въ Севрѣ. Онъ умеръ въ 1878 году въ Отейлѣ.

85. Для измѣренія упругости пара при температурахъ выше 100° С Реньо

http://mathesis.ru

воспользовался тѣмъ обстоятельствомъ, что температура жидкости повышается, пока жидкость не начинаетъ кипѣть. Съ этого момента температура не мѣняется во все время кипѣнія. Приборъ, которымъ Реньо пользовался при своихъ изслѣдованіяхъ, изображенъ на рис. 80. Маленькій паровой котелъ *A* герметически закрытъ. Въ его крышку вставлены четыре трубки, закрытыя на нижнемъ концѣ; двѣ изъ нихъ доходятъ почти до дна, а двѣ до середины котла. Въ каждой изъ этихъ трубокъ, которыя наполнены ртутью, находится термометръ. Котелъ соединенъ трубкой *B* съ шаромъ *G*, находящимся въ сосудѣ съ водой. Шаръ *G* сообщается съ открытымъ ма-

Рис. 80



Измѣреніе упругости шара при температурахъ выше 100° С.

нометромъ *N* и съ воздушнымъ насосомъ; съ послѣднимъ, который не изображенъ на рисункѣ, онъ соединяется посредствомъ трубки *HJ*. Этимъ насосомъ воздухъ накачивается въ шаръ. Давленіе воздуха на поверхность воды и на ртуть въ манометрѣ одинаково и величина этого давленія отсчитывается по манометру. Когда въ котлѣ образуется паръ, то онъ постепенно повышаетъ давленіе. Но это устраняется тѣмъ, что паръ конденсируется въ трубкѣ *B*, окруженной холодильникомъ *D*. Благодаря конденсаціи пара давленіе на поверхность воды не повышается. При помощи четырехъ термометровъ, изъ которыхъ два указываютъ температуру воды, а два — температуру пара, можно слѣдить за измѣненіями температуры въ котлѣ. Сначала температура въ котлѣ повышается. Какъ только вода закипаетъ, т. е. какъ только упругость пара становится равной давленію атмосферы на поверхность воды, всѣ четыре термометра продолжительное время показываютъ одну и ту же температуру. Вода въ котлѣ можетъ продолжать кипѣть безъ повышенія температуры. Образующійся въ котлѣ паръ снова конденсируется въ охлаждаемой трубкѣ.

При помощи такого опыта можно, слѣдовательно, узнать, какъ велика упругость насыщеннаго пара при указываемой термометрами температурѣ. Именно, эта упру-

http://mathesis.ru

гость пара такъ же велика, какъ и давленіе воздуха на поверхность воды, которое отсчитывается по манометру.

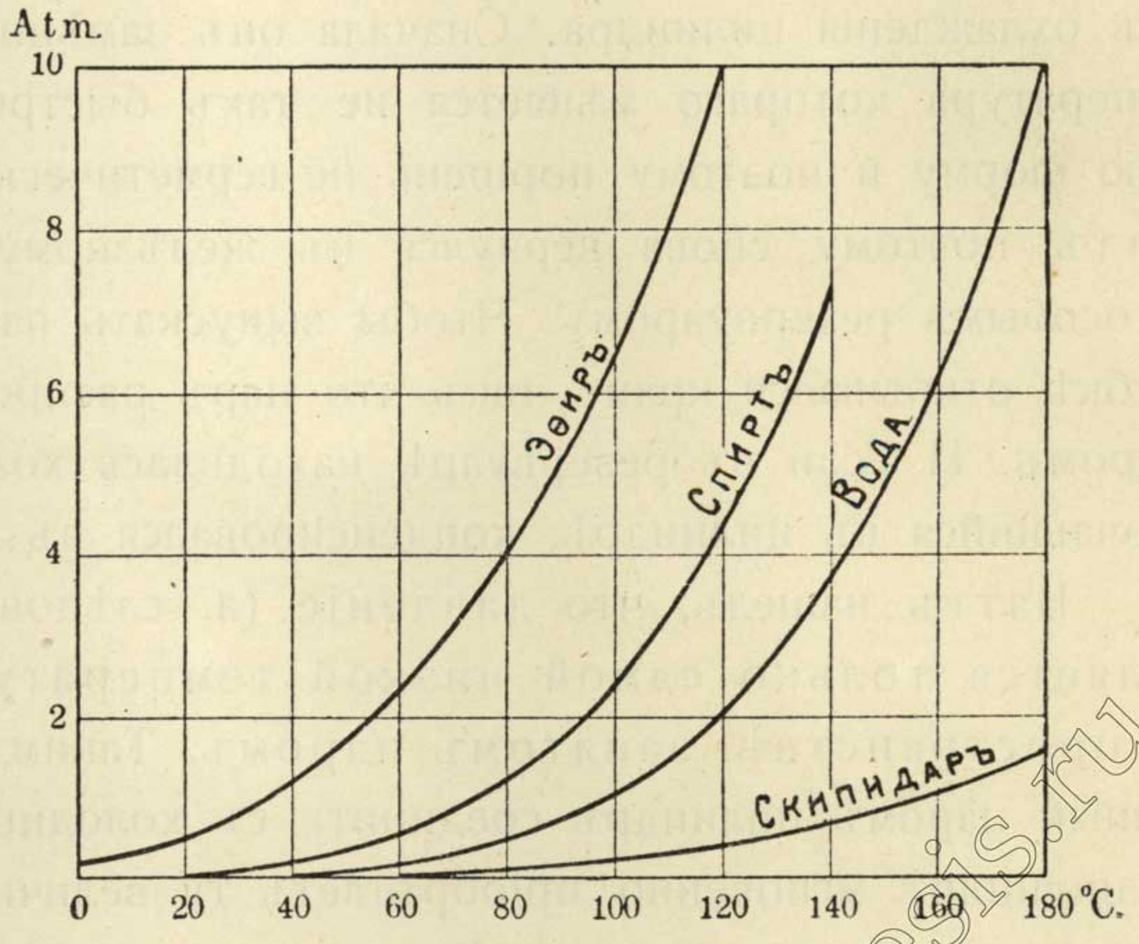
Такимъ же путемъ можно опредѣлить упругость пара другихъ жидкостей.

Въ слѣдующей таблицѣ указана упругость водяного пара, паровъ виннаго спирта и эѳира для различныхъ температуръ въ миллиметрахъ ртутнаго столба (I, § 234):

Температура (C).	Водяной паръ.	Паръ спирта.	Паръ эѳира.
— 20°	—	3·2	68·9
0°	4·6	13·0	184·0
+ 20°	17·4	44·0	433·0
+ 40°	54·0	134·0	907·6
+ 60°	148·9	350·0	1725·0
+ 80°	354·9	813·0	3023·0
+ 100°	760·0	1698·0	4953·0
+ 120°	1491·3	3232·0	7719·0
+ 140°	2717·6	5675·0	—
+ 160°	4651·6	—	—
+ 180°	7446·4	—	—
+ 200°	11689·0	—	—

Упругость пара увеличивается, слѣдовательно, гораздо быстрѣе, чѣмъ температура. На рис. 81 изображено графически увеличеніе упругости съ повышеніемъ температуры для водяного пара, паровъ спирта, эѳира и терпентиннаго масла. На горизонталяхъ нанесена температура, а на вертикаляхъ соотвѣтствующее давленіе пара въ атмосферахъ (I, § 243). Пары эѳира давятъ съ силой шести атмосферъ при 95°, пары виннаго спирта при 131° и пары воды при 159°.

Рис. 81



Кривыя упругости паровъ.

86. Благодаря опытамъ Дальтона старая теорія, по которой паръ считался растворомъ воды въ воздухѣ, должна была быть отвергнута. Именно, Дальтонъ нашелъ, что паръ въ воздухѣ имѣетъ ту же плотность, что и въ безвоздушномъ пространствѣ. Воздухъ не играетъ никакой существенной роли при образованіи пара. Насыщенный паръ при опредѣленной температурѣ имѣетъ одно и то же давленіе независимо отъ того, находится ли онъ въ воздухѣ или въ безвоздушномъ пространствѣ. Но въ безвоздушномъ пространствѣ парообразованіе происходитъ быстрѣе, чѣмъ въ воздухѣ. Частицы пара и воздуха могутъ, какъ оказывается, содержаться въ одномъ и томъ же пространствѣ, не вліяя другъ на друга. Теорія раствора поэтому должна быть, очевидно, оставлена. Количество пара, заключающееся въ опредѣленномъ объ-

http://mathesis.ru

емѣ, зависитъ только отъ температуры, но не отъ присутствія воздуха. Давленіе смѣси воздуха и пара, какъ нашелъ Дальтонъ, равно суммѣ давленій воздуха и пара.

То же относится, какъ показалъ Дальтонъ, къ давленію смѣси различныхъ газовъ. Если взять равные объемы различныхъ газовъ при неодинаковомъ давленіи и помѣстить ихъ въ одномъ объемѣ, равномъ по величинѣ объему каждаго отдѣльнаго газа, то давленіе смѣси будетъ равно суммѣ давленій отдѣльныхъ газовъ. Этотъ законъ не абсолютно вѣренъ, ибо тогда оказался бы абсолютно точнымъ и законъ Бойля, чего въ дѣйствительности нѣтъ. Если представить себѣ сосудъ, содержащій опредѣленный газъ и сообщающійся съ другимъ сосудомъ такой же ёмкости, въ которомъ заключенъ другой газъ той же упругости, что и первый, то послѣ смѣшенія каждый изъ газовъ занимаетъ двойной объемъ; и еслибы законъ Дальтона былъ вѣренъ, то и законъ Бойля долженъ былъ бы быть абсолютно вѣрнымъ, т. е. каждый изъ двухъ газовъ обладалъ бы упругостью, равной половинѣ первоначальной.

87. Джэмсъ Ваттъ подробно изслѣдовалъ свойства водяного пара. Онъ изслѣдовалъ, какъ уже упомянуто, поглощеніе тепла при испареніи, а также зависимость упругости пара отъ температуры. Болѣе точно эти измѣренія были произведены, какъ мы видѣли, позднѣйшими изслѣдователями. Но Ваттъ стремился также установить законы конденсаціи пара. Для него было ясно, что машина Ньюкомена расходовала слишкомъ много пара и что это обусловливалось именно введеніемъ холодной воды въ цилиндръ при каждомъ движеніи поршня. Когда затѣмъ паръ снова входилъ въ цилиндръ, онъ долженъ былъ снова прогрѣвать его; такимъ образомъ на это уходило значительное количество пара. Ватту было, разумѣется, ясно, что паръ подъ поршнемъ долженъ быстро конденсироваться, такъ какъ иначе ходъ машины былъ бы слишкомъ медленнымъ. Онъ старался поэтому достичь быстрой конденсаціи пара безъ охлажденія цилиндра. Сначала онъ замѣнилъ желѣзный цилиндръ деревяннымъ, температура котораго мѣняется не такъ быстро. Но деревянный цилиндръ мѣнялъ свою форму и поэтому поршень не герметически закрывалъ пространство для пара. Ваттъ поэтому снова вернулся къ желѣзному цилиндру и соединилъ его трубкой съ особымъ резервуаромъ. Чтобы выпускать паръ изъ цилиндра, въ соединительной трубкѣ открывался кранъ, такъ что паръ распредѣлялся между цилиндромъ и резервуаромъ. И если въ резервуарѣ находилась холодная вода, то почти весь паръ, заключавшійся въ цилиндрѣ, конденсировался въ воду.

Ваттъ нашелъ, что давленіе (а, слѣдовательно, и количество) пара опредѣляется только самой низкой температурой, господствующей гдѣ-либо въ пространствѣ, занятомъ паромъ. Такимъ образомъ, если нагрѣтый и наполненный паромъ цилиндръ соединить съ холоднымъ резервуаромъ, то упругость пара въ цилиндрѣ мгновенно пріобрѣтаетъ ту величину, которая соотвѣтствуетъ температурѣ холоднаго резервуара. Ваттъ показалъ это, наполнивъ паромъ сосудъ, соединенный съ закрытой жестяной трубкой, и опустивъ эту трубку въ холодную воду. Паръ конденсировался такъ совершенно, что давленіе воздуха сплюснуло жестяную трубку.

Это дѣйствіе, вызываемое охлажденіемъ, наблюдается очень ясно на приборѣ, представленномъ на рис. 82, устройство котораго ясно изъ самого рисунка. Двѣ колбы содержатъ жидкость, напримѣръ, эѳиръ, который удобенъ для этого опыта благодаря своей низкой температурѣ кипѣнія. Эѳиръ сначала нагрѣвается до кипѣ-

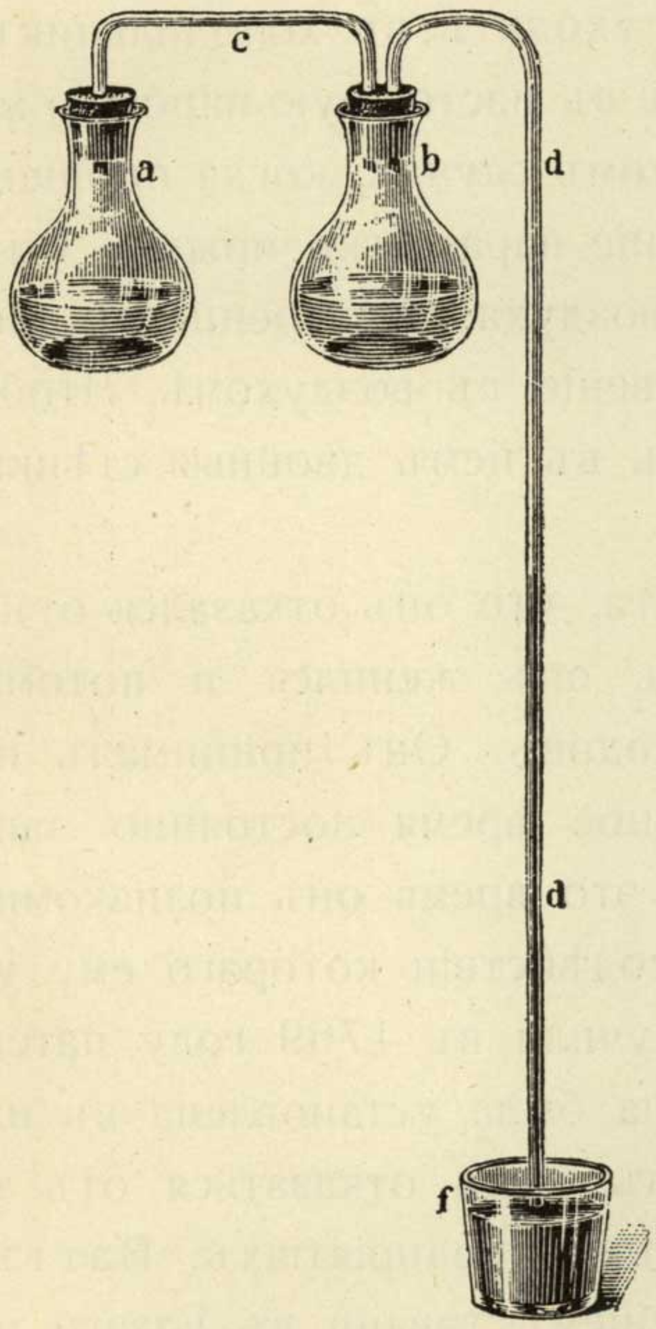
http://mathesis.ru

нія погруженіемъ колбъ въ горячую воду. Когда воздухъ выгнанъ, трубка *A* опускается въ сосудъ съ ртутью. Когда колба охлаждается, то ртуть подымается въ трубкѣ.

Опустимъ теперь колбу *a* въ холодную воду; послѣ того какъ ртуть въ трубкѣ *d* установится на высотѣ, соотвѣтствующей давленію, эѳиръ въ колбѣ *b* доводится до кипѣнія погруженіемъ въ горячую воду. Несмотря на образованіе пара, давленіе въ пространствѣ, наполненномъ имъ, не измѣняется. Образующійся въ *b* паръ конденсируется въ *a* и высота ртутнаго столба остается неизмѣненной.

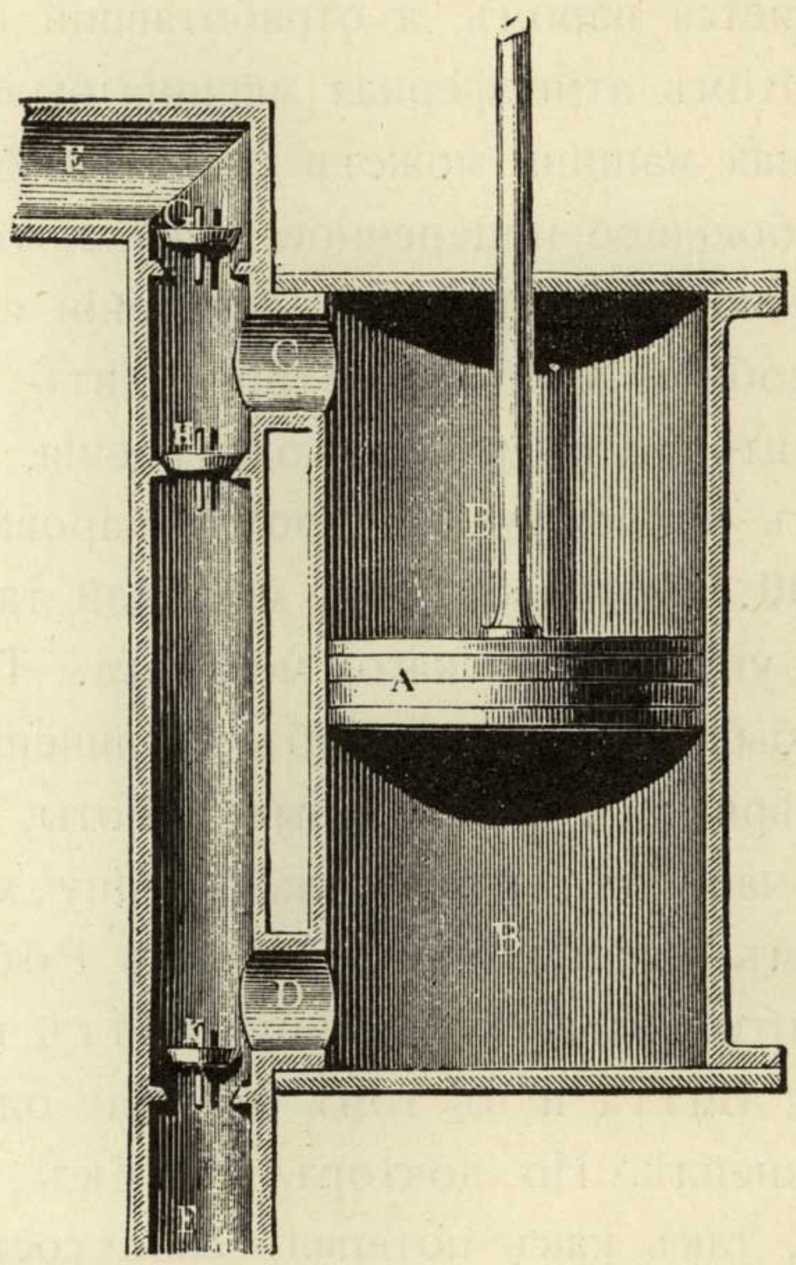
88. Ваттъ назвалъ холодный резервуаръ конденсаторомъ (по-русски часто холодильникъ). Съ его помощью онъ могъ удалять паръ изъ цилиндра, не охлаждая послѣдняго. Низкая температура въ холодильникѣ поддерживалась тѣмъ, что въ него безпрестанно накачивалась холодная вода насосомъ, который приводился въ движеніе самой машиной. Другой насосъ—для теплой воды—выкачивалъ воду изъ холодиль-

Рис. 82



Конденсаторъ.

Рис. 83



Движеніе поршня давленіемъ пара.

ника. Насосъ этотъ называютъ также воздушнымъ насосомъ, такъ какъ онъ удаляетъ изъ холодильника, кромѣ воды, также и воздухъ, постоянно проходящій въ холодильникъ вмѣстѣ съ холодной водой и паромъ. Третій насосъ накачивалъ теплую воду въ котелъ, чѣмъ достигалась значительная экономія топлива.

Дѣйствіе этой усовершенствованной атмосферной машины Ньюкомена, какъ ее назвалъ Ваттъ, слѣдующее. Когда поршень занимаетъ нисшее положеніе, сообщеніе съ холодильникомъ прерывается и паръ впускается въ цилиндръ. Поршень подымается вверхъ и, когда онъ занимаетъ высшее положеніе, впускъ пара прекращается и снова устанавливается сообщеніе съ холодильникомъ. Паръ входитъ въ него, а поршень вслѣдствіе давленія воздуха опускается.

89. Затѣмъ Ваттъ обратилъ вниманіе на то, что источникомъ значительной потери пара является еще и то обстоятельство, что при каждомъ движеніи поршня въ цилиндръ проникаетъ холодный воздухъ, охлаждающій его.

http://mathesis.ru

Онъ рѣшилъ поэтому совершенно отказаться отъ работы давленія воздуха и заставить поршень двигаться исключительно давленіемъ пара. Изъ своихъ изслѣдованій надъ упругостью пара онъ зналъ, что эта упругость при температурѣ выше 100°C значительно превышаетъ давленіе воздуха. Онъ закрылъ цилиндръ герметически прилегающей крышкой, черезъ которую проходилъ плотно пригнанный поршневой стержень. Паръ входитъ черезъ *E* (рис. 83), когда клапанъ *G* открытъ, а клапанъ *H* закрытъ. Въ этотъ моментъ паръ двигаетъ поршень внизъ. Пространство подъ поршнемъ сообщается съ холодильникомъ, такъ какъ клапанъ *K* открытъ. Когда поршень доходитъ до дна цилиндра, клапаны *G* и *K* закрываются, а клапанъ *H* открывается. Теперь цилиндръ отдѣленъ какъ отъ котла, такъ и отъ холодильника, и такъ какъ паръ находится по обѣ стороны поршня (*H* открытъ), то движеніе поршня происходитъ безпрепятственно. Противовѣсъ на коромыслѣ (ср. § 65) поднимаетъ поэтому поршень вверхъ. *H* закрывается, *G* и *K* открываются, пространство надъ поршнемъ снова наполняется паромъ, а отработавшій паръ черезъ *K* уходитъ въ холодильникъ.

Этимъ атмосферная машина была преобразована въ настоящую паровую машину. Подобная машина можетъ сильно дѣйствовать и въ томъ случаѣ, когда поршень имѣетъ небольшое поперечное сѣченіе, такъ какъ давленіе пара легко можетъ быть увеличено во много разъ въ сравненіи съ давленіемъ воздуха. Внутренность цилиндра въ подобной машинѣ не приходитъ въ соприкосновеніе съ воздухомъ. Чтобы предохранить цилиндръ отъ охлажденія, Ваттъ сдѣлалъ въ немъ двойныя стѣнки и наполнилъ промежутокъ паромъ (паровая оболочка).

90. Опыты съ этой машиной такъ заняли Ватта, что онъ отказался отъ должности университетскаго механика. Тѣмъ временемъ онъ женился и потому долженъ былъ заботиться объ увеличеніи своихъ доходовъ. Онъ принималъ на себя землемѣрныя и инженерныя работы, но въ свободное время постоянно занимался своей машиной, имѣя только одну модель ея. Въ это время онъ познакомился съ богатымъ человѣкомъ, докторомъ Робёкомъ, при содѣйствіи котораго ему удалось построить большую машину. Ваттъ и Робёкъ получили въ 1769 году патентъ на машину Ватта и въ томъ же году одна такая машина была установлена въ шахтахъ въ Киннейлѣ. Но докторъ Робёкъ вскорѣ долженъ былъ отказаться отъ товарищества, такъ какъ потерялъ свое состояніе въ другихъ предпріятіяхъ. Ваттъ снова занялся другими работами. Онъ руководилъ углубленіемъ гавани въ Глазго и работалъ при постройкѣ Каледонскаго канала въ сѣверной Шотландіи, который соединяетъ Атлантическій океанъ съ Сѣвернымъ моремъ.

Въ 1773 году Матью Бультонъ, состоятельный торговецъ желѣзными товарами въ Сого близъ Бирмингама, изъявилъ желаніе снова заняться улучшеніемъ паровой машины вмѣстѣ съ Ваттомъ. Ваттъ принялъ его предложеніе и переселился въ Бирмингамъ. Патентъ, срокъ котораго между тѣмъ истекъ, былъ возобновленъ и вскорѣ въ Сого стояла готовая къ употребленію большая машина Ватта.

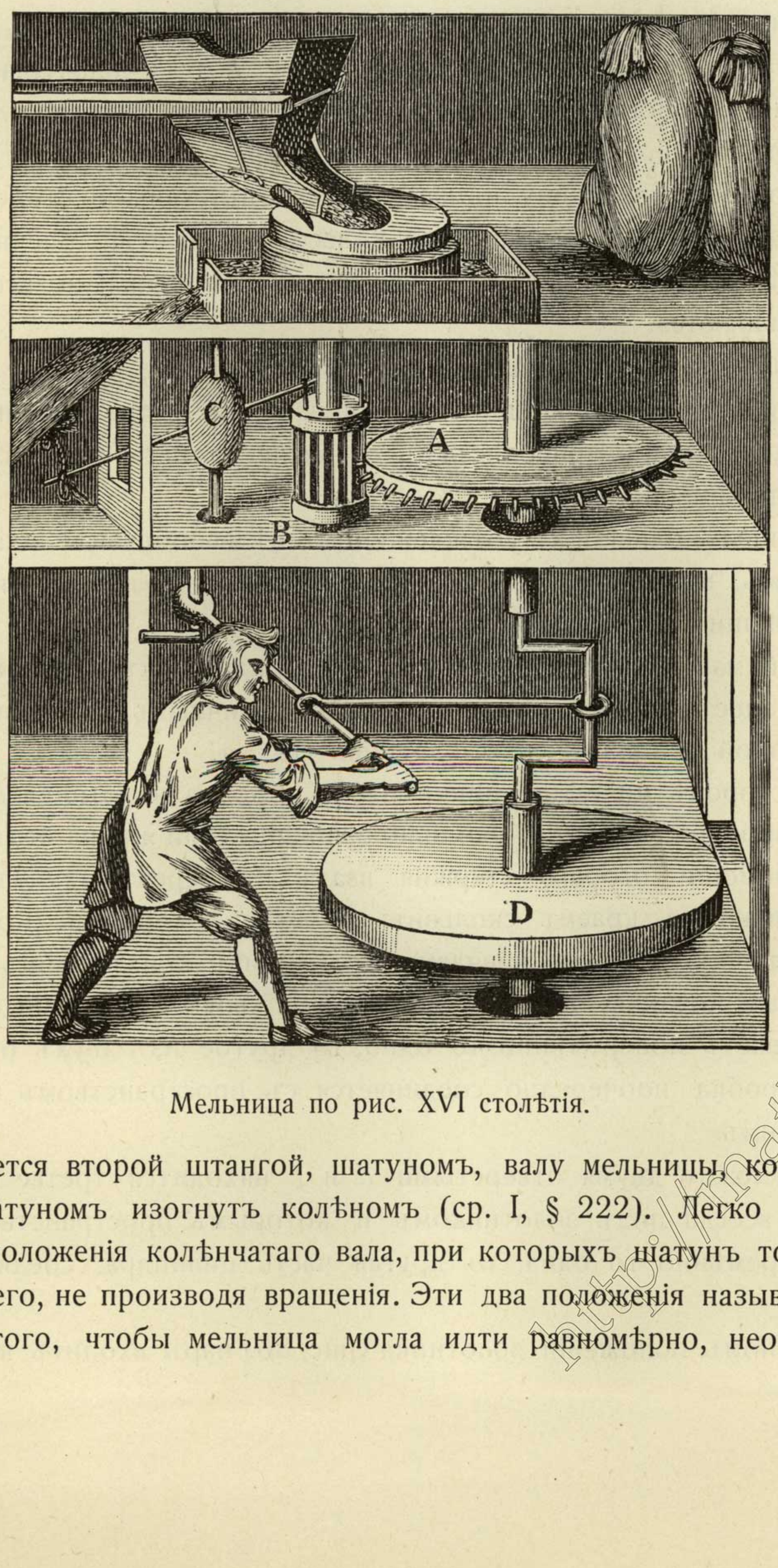
Новая машина сначала, однако, не встрѣтила хорошаго пріема у владѣльцевъ копей, такъ какъ стоила значительно дороже, чѣмъ машина Ньюкомена. Ваттъ и Бультонъ предлагали поэтому установить свою машину безплатно, требуя себѣ въ вознагражденіе третью часть того угля, который можно было съэкономить, поставивъ новую машину на мѣстѣ машины Ньюкомена. Это условіе оказалось для нихъ очень выгоднымъ. Одна шахта, напримѣръ, давала имъ ежегодно около 25000 рублей.

http://mathesis.ru

91. Въ слѣдующіе годы Ваттъ направилъ всѣ свои силы на усовершенствованіе своей машины. Первоначально она получила примѣненіе лишь для насосовъ, гдѣ требуется только движеніе вверхъ и внизъ и гдѣ сила необходима только въ то время, когда поршень опускается, такъ какъ противовѣсъ на коромыслѣ снова подымаетъ его. Ваттъ понялъ, что машина пріобрѣтетъ совсѣмъ другое значеніе, если ему удастся видоизмѣнить ее такъ, чтобы она могла производить вращательное движеніе. Въ этомъ случаѣ она могла бы приводить въ движеніе всякую рабочую машину, соединенную съ валомъ.

Какъ превратить движеніе взадъ и впередъ въ движеніе вращательное, было извѣстно давно. На рис. 84, представляющемъ копію съ рисунка XVI столѣтія, видно, какъ человѣкъ приводитъ въ движеніе мельницу, двигая взадъ и впередъ одинъ рычагъ.

Рис. 84



Мельница по рис. XVI столѣтія.

Движеніе передается второй штангой, шатуномъ, валу мельницы, который въ мѣстѣ соединенія съ шатуномъ изогнутъ колѣномъ (ср. I, § 222). Легко видѣть, что существуютъ два положенія колѣнчатаго вала, при которыхъ шатунъ только тянетъ его или давитъ на него, не производя вращенія. Эти два положенія называются мертвыми точками и для того, чтобы мельница могла идти равномѣрно, необходимо, чтобы

http://mathesis.ru

машина сама переходила чрезъ эти мертвыя точки. Для этой цѣли служитъ тяжелый дискъ *D*, такъ называемое маховое колесо. Разъ валъ вмѣстѣ съ этимъ колесомъ имѣетъ извѣстную скорость, то движеніе сохраняется, даже если движущая сила на мгновеніе перестаетъ дѣйствовать, такъ какъ ее замѣняетъ энергія движенія (ср. I, § 182). Но маховое колесо служитъ не только для того, чтобы выводить машину изъ мертвыхъ точекъ; оно имѣетъ также цѣлью сдѣлать движеніе равномѣрнымъ, когда движущая сила перемѣнна, какъ это почти всегда бываетъ, если ось движется при посредствѣ колѣнчатаго вала. Если разложить силу на двѣ составляющія, изъ коихъ одна направлена по касательной, а другая по радіусу, то первая составляющая представитъ ту часть силы, которая производитъ вращеніе, а вторая ту часть, которая производитъ давленіе на ось. Первая составляющая равна нулю въ мертвыхъ точкахъ и достигаетъ наибольшей величины посрединѣ между ними. Такимъ образомъ, во время вращенія величина этой силы постоянно то увеличивается, то уменьшается и движеніе, производимое этой силой, было бы неравномѣрнымъ, еслибы дѣйствіе махового колеса не обращало его въ равномѣрное. Когда движущая сила уменьшается, маховое колесо дѣйствуетъ ускоряющимъ образомъ, а когда сила увеличивается, оно замедляетъ движеніе. Для того чтобы маховое колесо могло правильно работать, оно должно имѣть величину и массу въ соотвѣтствіи со скоростью вращенія и съ измѣненіями движущей силы. Маховое колесо не можетъ, конечно, поддерживать движеніе равномѣрнымъ, если движущая сила или сопротивленіе все время увеличиваются или уменьшаются.

Чтобы использовать свою машину для вращенія вала, Ваттъ устроилъ на каждомъ концѣ коромысла по цилиндру съ поршнемъ такъ, что поршни поочередно поднимались вверхъ, и рычагъ приводилъ въ движеніе валъ съ маховымъ колесомъ при помощи шатуна и кривошина.

Ваттъ пришелъ, однако, къ убѣжденію, что цѣлесообразнѣе пользоваться только однимъ поршнемъ, но двигать его и вверхъ и внизъ давленіемъ пара. Это повело къ устройству машинъ двойного дѣйствія.

92. Въ этой машинѣ паръ доставляется цилиндру такъ называемымъ золотникомъ. Въ настоящее время существуетъ много различныхъ золотниковъ, но всѣ они представляютъ собой видоизмѣненія золотника Ватта.

Къ одной сторонѣ цилиндра прикрѣплена коробка золотника *DE* (рис. 85). Въ ней золотникъ, имѣющій форму чашки или раковины (или ящика безъ крышки. *Пер.*), движется при помощи особаго стержня взадъ и впередъ такимъ образомъ, что своимъ отшлифованнымъ краемъ скользитъ по стѣнкѣ коробки. Коробка золотника соединена съ цилиндромъ двумя каналами *de* и *fg*, изъ коихъ одинъ ведетъ въ верхнюю, а другой въ нижнюю часть цилиндра. При своемъ движеніи взадъ и впередъ золотникъ закрываетъ поперемѣнно то одно, то другое изъ двухъ отверстій *d* и *f* и золотниковая коробка поочередно соединяется съ пространствомъ то надъ цилиндромъ, то подъ нимъ.

Посрединѣ между двумя отверстіями *d* и *f* находится третье отверстіе *O*, которое находится всегда подъ золотникомъ и которымъ пространство подъ золотникомъ, т. е. поперемѣнно то одна, то другая часть цилиндра, соединяется съ холодильникомъ.

При извѣстномъ положеніи золотника (рис. 86) паръ входитъ въ нижнюю часть

http://matesis.ru

цилиндра, а изъ верхней выходитъ черезъ O въ холодильникъ и тамъ конденсируется. Еще прежде, чѣмъ поршень достигаетъ своего высшаго положенія, золотникъ опускается настолько, что оба отверстія d и f закрываются имъ, и потому паръ не можетъ входить въ цилиндръ. Когда же поршень достигаетъ своего высшаго положенія, то для входа пара въ пространство надъ поршнемъ открывается путь de (рис. 85), а паръ подъ поршнемъ уходитъ въ холодильникъ черезъ каналъ gf, отверстіе котораго теперь покрыто золотникомъ. Прежде еще, чѣмъ поршень достигнетъ низшаго положенія, отверстія d и f оба закрываются, а когда поршень совершенно опустится внизъ, верхняя часть цилиндра снова соединится съ холодильникомъ, а нижняя часть съ золотниковой или парораспредѣлительной коробкой и т. д.

Такимъ образомъ, золотникъ дѣлаетъ краны излишними. Однако, подобно тому, какъ краны должны закрываться въ надлежащее время, перемѣщенія золотника также

Рис. 85

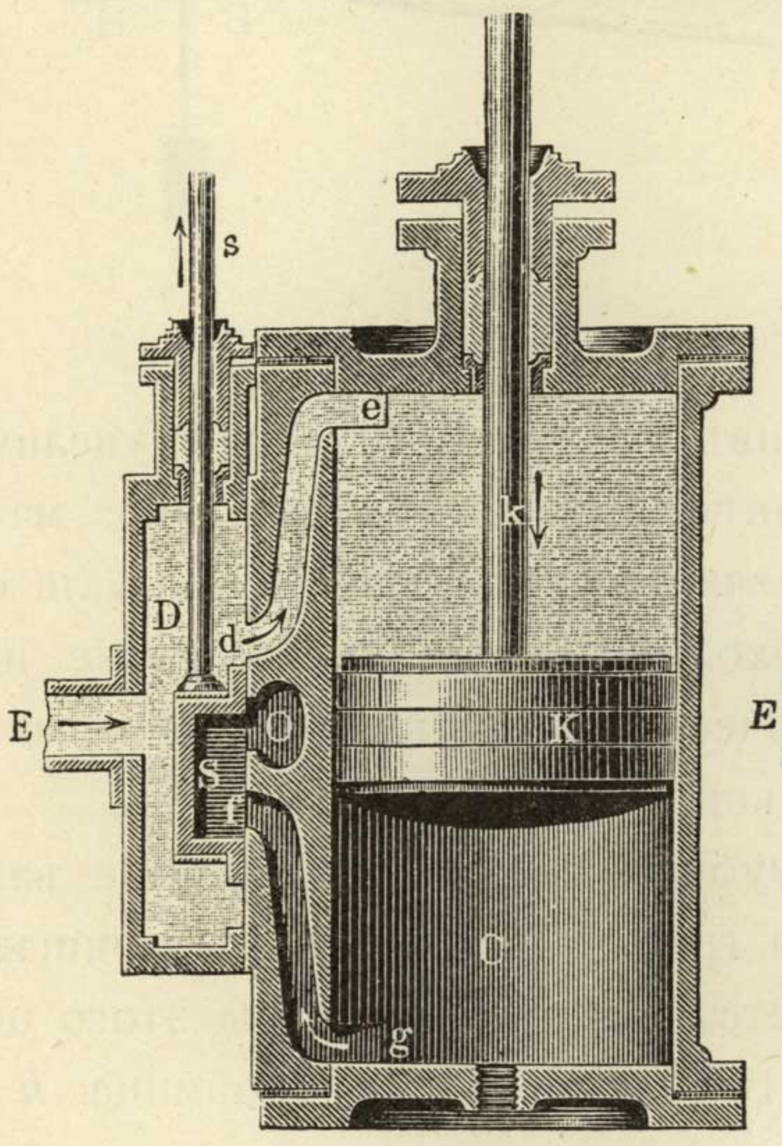
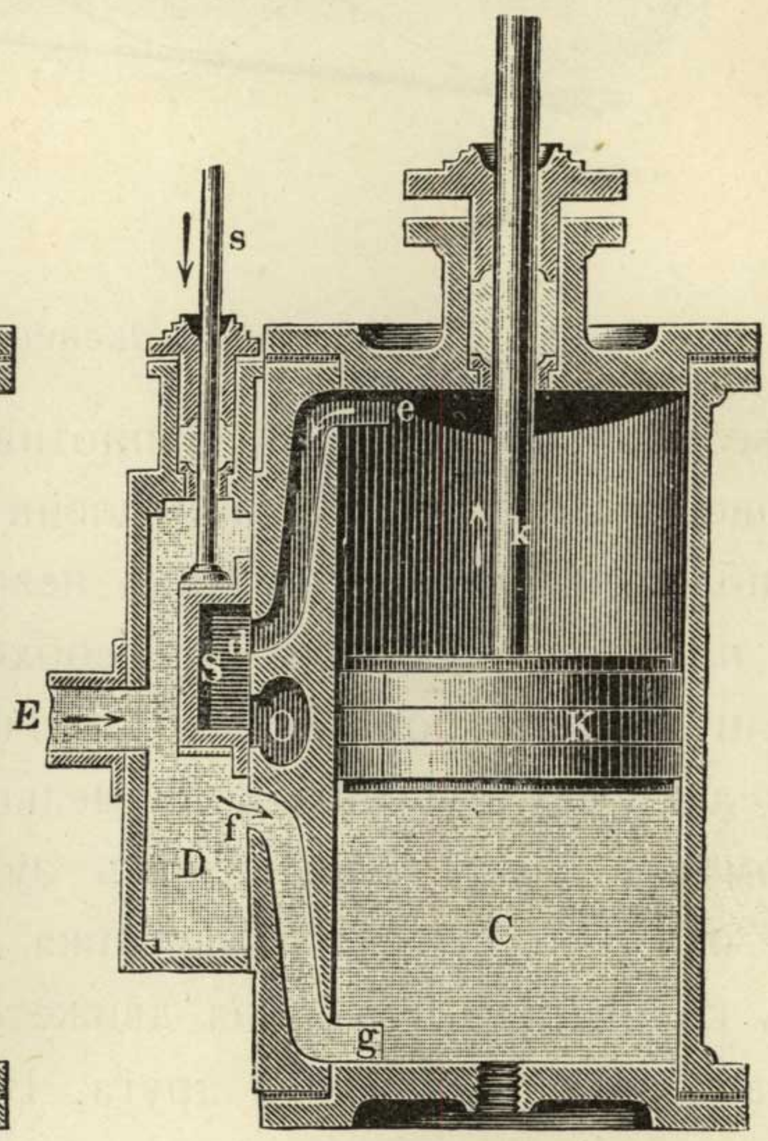


Рис. 86



Цилиндръ машины двойного дѣйствія съ золотникомъ.

должны происходить въ опредѣленное время, т. е. когда поршень находится въ опредѣленномъ положеніи.

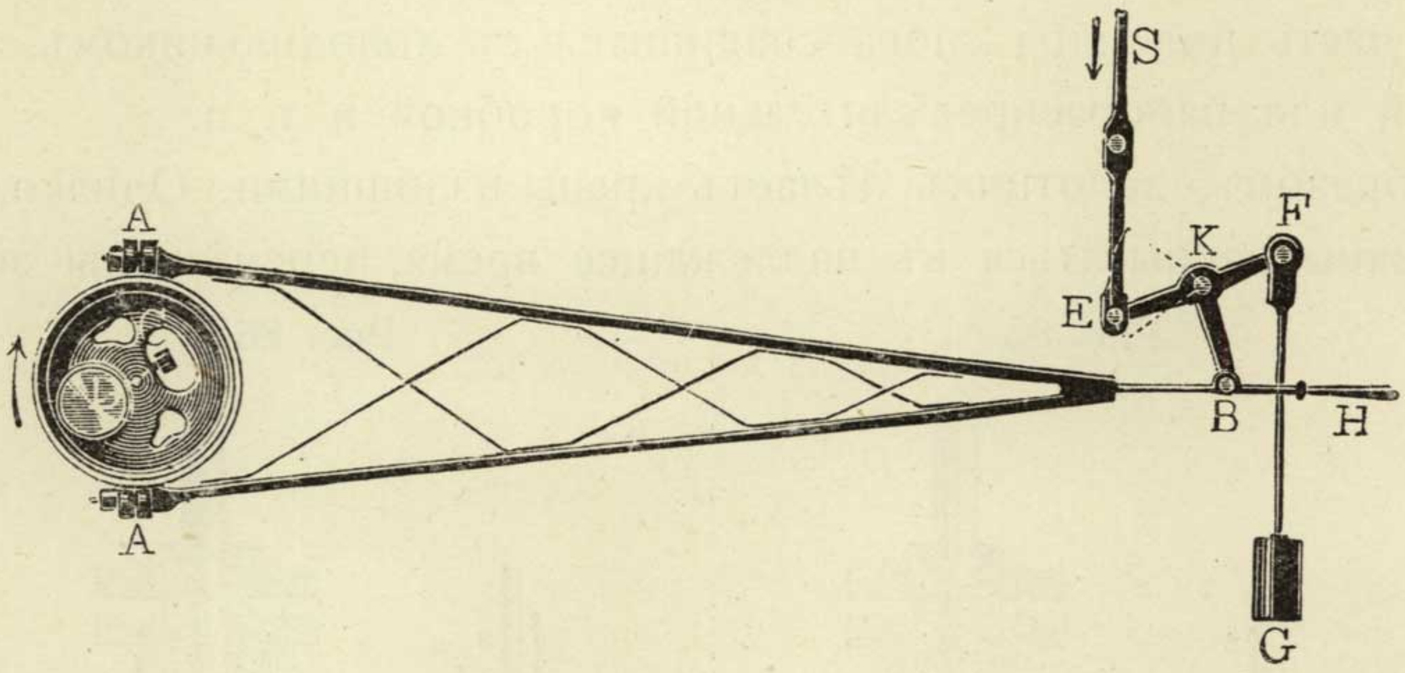
Ваттъ приводилъ золотникъ въ движеніе тѣмъ, что на валъ машины, вращавшійся при помощи кривошипа, насаживалъ кругъ, центръ котораго не совпадалъ съ центромъ вала (рис. 87). Этотъ кругъ, называемый эксцентрикомъ, охватывается кольцомъ, скрѣпленнымъ со стержнями A и A. Послѣдніе дѣйствуютъ на ломаный рычагъ BKE, вращающійся вокругъ точки K. Когда валъ дѣлаетъ половину оборота, что соотвѣтствуетъ половинѣ пути поршня, то широкая часть эксцентрика переходитъ на другую сторону (на рисункѣ лѣвую), точка B перемѣщается влѣво, а плечо KE рычага движется вверхъ и стержень S, слѣдовательно, подымается. При дальнѣйшемъ движеніи вала кольцо, а слѣдовательно, и стержень S возвращаются въ первоначальное положеніе. При каждомъ движеніи поршня стержень S движется, такимъ образомъ, вверхъ и внизъ, и если стержень S связанъ съ золотникомъ, то и послѣдній при каждомъ движеніи поршня дѣлаетъ одно движеніе вверхъ и внизъ. Помѣщая

http://mathesis.ru

эксцентрикъ на валѣ въ надлежащемъ положеніи, можно достигнуть того, что движеніе золотника будетъ согласоваться надлежащимъ образомъ съ движеніемъ поршня.

93. Какъ было сказано, маховое колесо не можетъ мѣшать слишкомъ быстрому или медленному ходу машины; оно можетъ выравнивать только кратковременныя измѣненія скорости. Поэтому, если сопротивленіе, преодолѣваемое машиной, уменьшается, то поршень подъ давленіемъ пара движется быстрѣе, а вмѣстѣ съ нимъ движется быстрѣе и маховое колесо. Напротивъ, когда сопротивленіе увеличивается, поршень и маховое колесо движутся медленнѣе. Если, слѣдовательно, машина должна двигаться приблизительно равномѣрно, независимо отъ того, будетъ ли сопротивленіе уменьшаться или увеличиваться, то необходимо регулировать также притокъ пара. Для этой цѣли Ваттъ пользовался коническимъ маятникомъ, который въ то время употреблялся для регулированія хода мельницъ.

Рис. 87



Эксцентрикъ.

При помощи двухъ коническихъ зубчатыхъ колесъ движеніе вала передается вертикальной оси *a* коническаго маятника (рис. 90). Если паръ начинаетъ притекать въ бо́льшемъ количествѣ и машина движется быстрѣе, то шары этого центробѣжнаго регулятора расходятся другъ отъ друга. Вслѣдствіе этого обоймица *h* и связанный съ нею стержень *b* нѣсколько приподымаются и клапанъ (створчатый клапанъ) въ паропроводной трубкѣ (подъ золотниковой коробкой *K*) поворачивается такимъ образомъ, что притокъ пара уменьшается. Когда притокъ пара уменьшается, шары приближаются къ оси и створчатый клапанъ поворачивается въ противоположную сторону, т. е. такъ, что притокъ пара увеличивается. Такимъ образомъ, машина сама регулируетъ двигательную силу (паръ) и дѣлаетъ скорость возможно равномѣрной. Но поддерживать скорость машины совершенно неизмѣнной центробѣжный регуляторъ не можетъ, такъ какъ шары должны больше или меньше отодвигаться отъ оси, чтобы регулированіе было возможно. А это измѣненіе положенія шаровъ возможно только при нѣкоторомъ измѣненіи скорости.

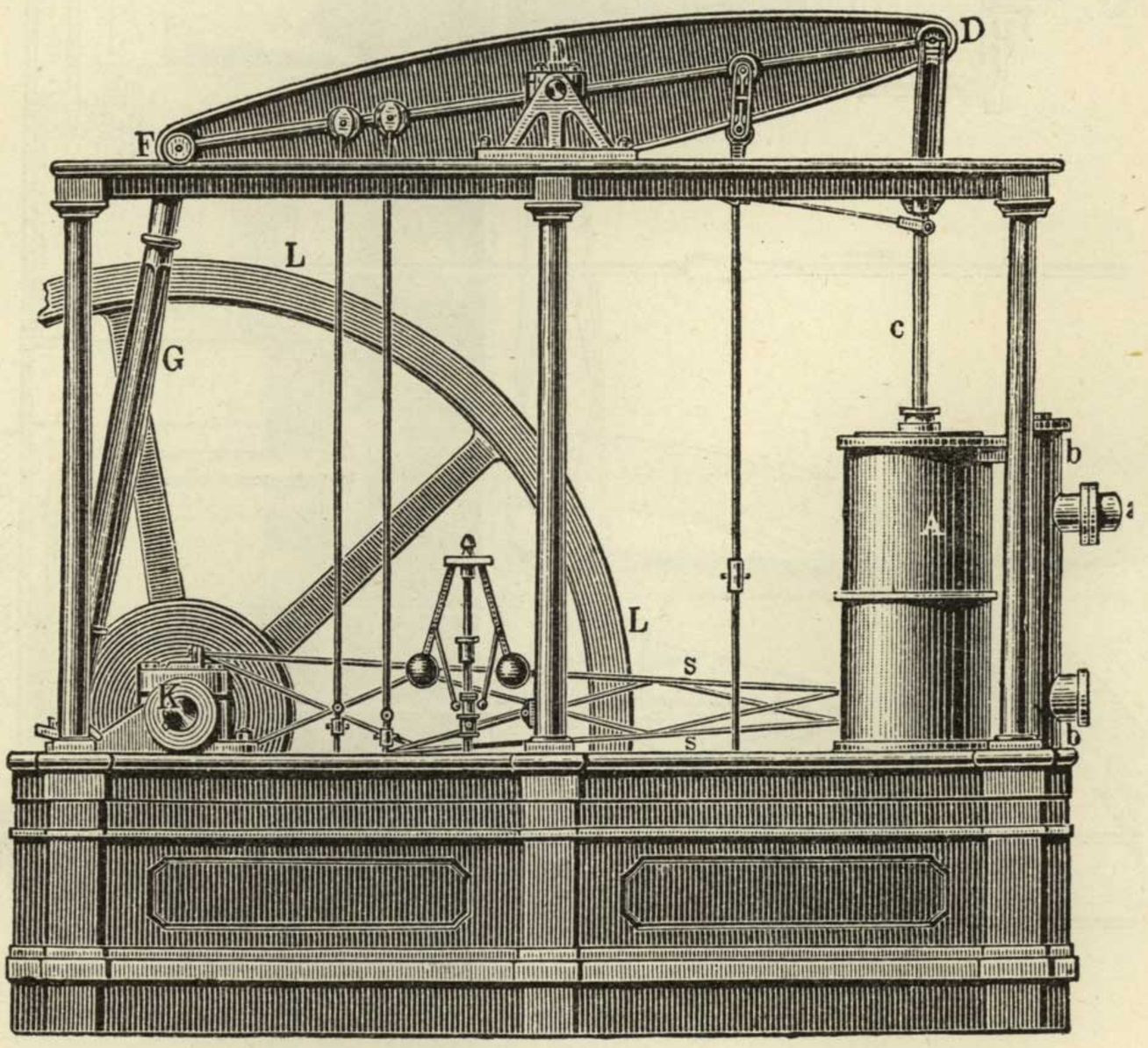
94. Болѣе подробно устройство машины двойного дѣйствія Ватта видно на рис. 88 и 89. Первый представляетъ общій видъ машины, второй — разрѣзъ нижней ея части. Паръ черезъ трубку *a* входитъ справа въ распредѣлительную коробку, а изъ нея въ цилиндръ *A*. При положеніи золотника и поршня, изображенномъ на рисункѣ, паръ входитъ въ верхнюю часть цилиндра и поршень движется внизъ. Ось *K*, вмѣстѣ съ маховымъ колесомъ *L*, приводится въ движеніе при помощи коро-

http://mathesis.ru

мысла *DF* и тяги *G*. Пространство подъ поршнемъ соединяется съ конденсаторомъ *e*, въ который черезъ трубку *g* постоянно накачивается холодная вода. Насосъ *q* накачиваетъ холодную воду въ резервуаръ, окружающій конденсаторъ. Отсюда насосъ *h* подымаетъ воду черезъ трубку *nn* къ нагнетательному насосу *m*, который подаетъ воду въ котелъ. Золотникъ движется эксцентрикомъ *e* черезъ посредство штангъ *ss*, а притокъ пара регулируется центробѣжнымъ регуляторомъ *f*.

95. Для приведенія въ дѣйствіе своей машины Ваттъ пользовался давленіемъ пара всего въ 1 или въ 2 атмосферы. Конденсаторъ уничтожалъ давленіе пара внутри цилиндра почти совершенно, такъ что при движеніи поршня на него дѣйствовало почти все давленіе пара. Движенію поршня противодѣйствовало только такое давленіе пара, которое соотвѣтствуетъ температурѣ, господствующей въ конденсаторѣ.

Рис. 88



Машина низкаго давленія Ватта.

Зная эту температуру, можно найти соотвѣтственное давленіе въ таблицѣ на стр. 75. Такая машина низкаго давленія имѣетъ различныя преимущества передъ машиной, приводимой въ движеніе паромъ болѣе высокаго давленія. Она значительно прочнѣе послѣдней и въ ней почти совершенно исключена опасность взрыва котла.

Но при небольшомъ давленіи поршень долженъ имѣть большое поперечное сѣченіе, а въ силу этого приходится расходовать много пара. Кромѣ того, машина должна быть снабжена конденсаторомъ и различными насосами. Поэтому она имѣетъ довольно сложное устройство и занимаетъ много мѣста.

Ваттъ конечно зналъ, что можно обойтись и безъ конденсатора, выпуская паръ прямо въ воздухъ. Но въ такомъ случаѣ давленіе пара должно быть значительно больше, такъ какъ теперь поршень долженъ преодолѣвать давленіе атмосферы. Такая машина работаетъ безъ пустоты, т. е. безъ свободнаго отъ пара пространства подъ поршнемъ.

http://mathesis.ru

Во многихъ случаяхъ, однако, болѣе простая машина съ высокимъ давленіемъ, такъ называемая машина высокаго давленія, заслуживаетъ предпочтенія передъ болѣе сложной машиной низкаго давленія.

Устройство машины высокаго давленія можно видѣть изъ рис. 90. Паропроводная трубка и распредѣлительная коробка на этомъ рисункѣ не видны, такъ какъ онѣ закрыты цилиндромъ. Стержень золотника *s* и трубка *z*, чрезъ которую выхо-

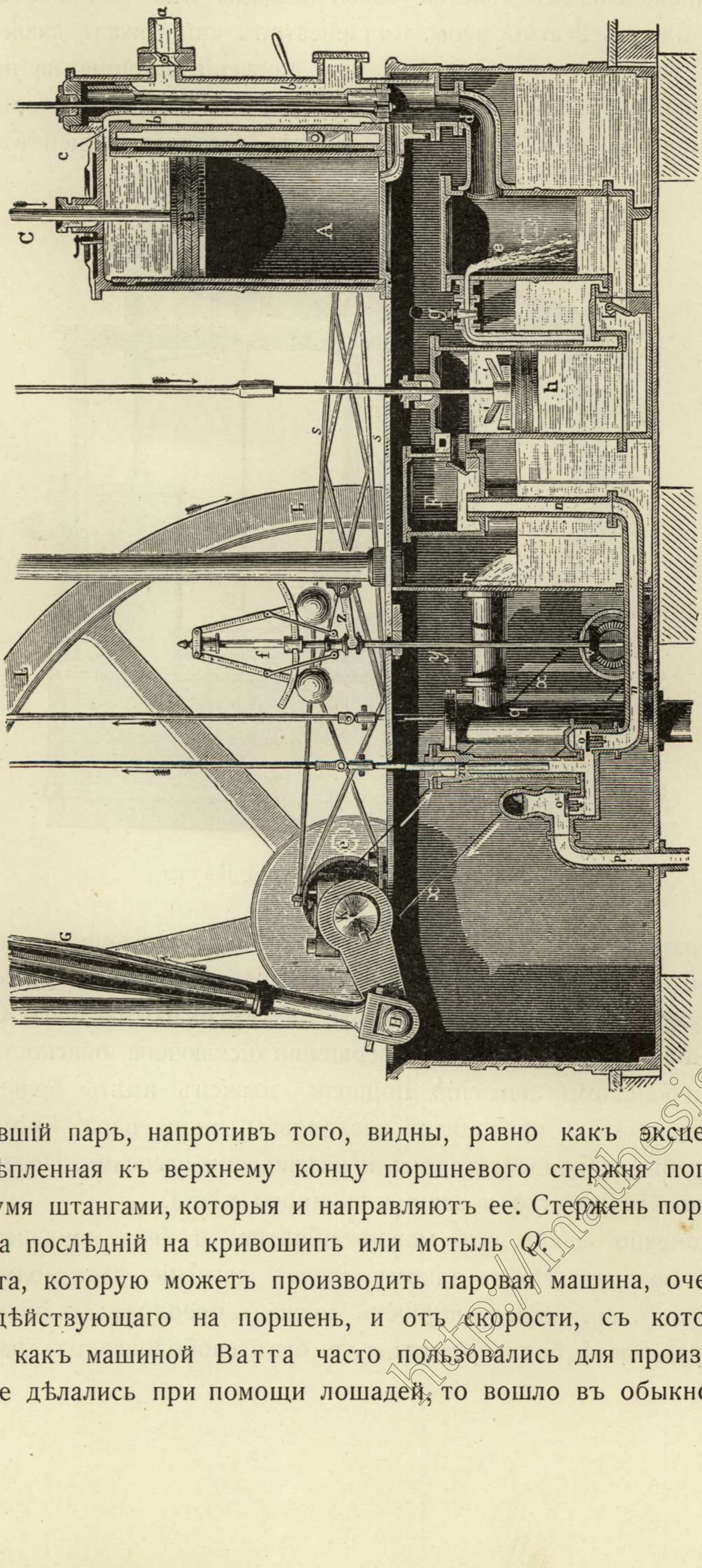


Рис. 89 — Машина низкаго давленія Ватта — Разрѣзъ.

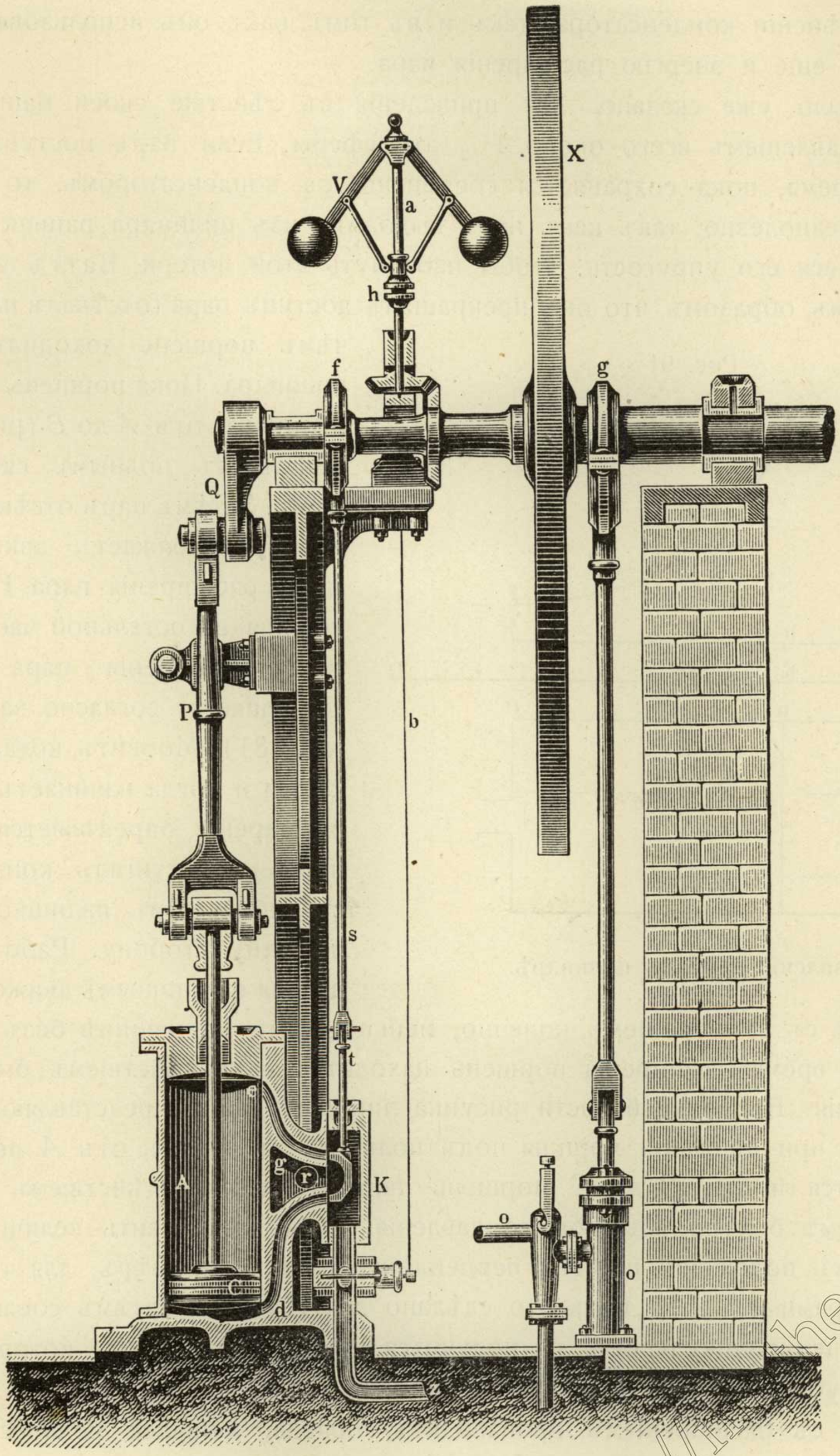
дитъ отработавшій паръ, напротивъ того, видны, равно какъ эксцентрикъ и регуляторъ. Прикрѣпленная къ верхнему концу поршневого стержня поперечина скользитъ между двумя штангами, которыя и направляютъ ее. Стержень поршня дѣйствуетъ на шатунъ *P*, а послѣдній на кривошипъ или мотыль *Q*.

96. Работа, которую можетъ производить паровая машина, очевидно зависитъ отъ давленія, дѣйствующаго на поршень, и отъ скорости, съ которою послѣдній движется. Такъ какъ машиной Ватта часто пользовались для производства работъ, которыя раньше дѣлались при помощи лошадей, то вошло въ обыкновеніе выражать

http://mathesis.ru

рабочую способность паровой машины въ лошадиныхъ силахъ. Одинъ англійскій пивоваръ, желая замѣнить лошадиную тягу паровой машиной, занялся изслѣдованіемъ того, какое количество работы можетъ производить одна лошадь въ теченіе одной

Рис. 90



Машина высокаго давленія.

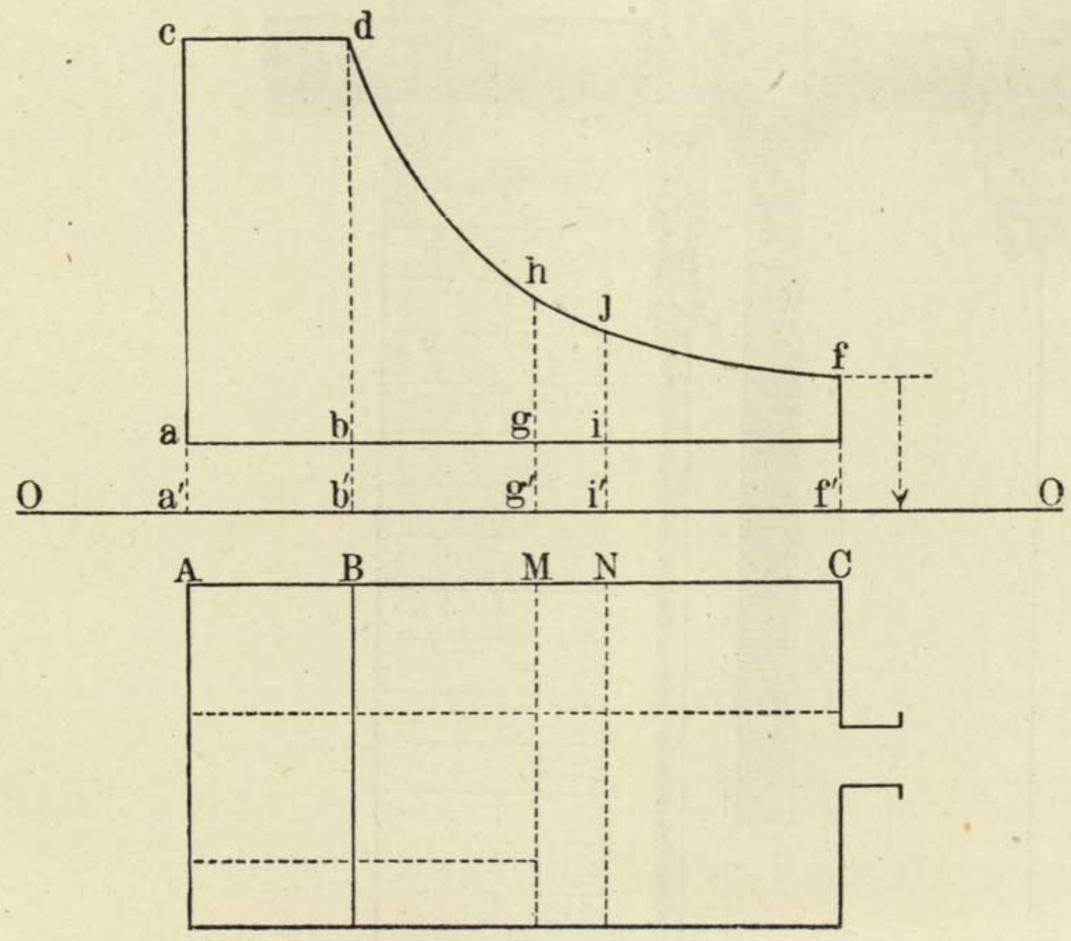
секунды. Онъ запрягъ въ свой приводъ сильную лошадь и, заставивъ ее усиленно работать, привелъ въ дѣйствіе насосъ. Онъ нашелъ, что лошадь подымала въ одну

секунду 470 фунтовъ воды на высоту одного фута, такъ что въ одну секунду она производила работу въ 470 фунтофутовъ (I, § 226). Въ настоящее время подъ лошадиной силой разумѣютъ ту силу, которая производитъ въ одну секунду 75 килограмметровъ работы.

97. Джэмсъ Ваттъ хорошо ознакомился со свойствами пара. Это сказалось какъ въ примѣненіи конденсатора, такъ и въ томъ, какъ онъ использовалъ для движенія поршня еще и энергію расширенія пара.

Какъ было уже сказано, для приведенія въ дѣйствіе своей машины Ваттъ пользовался давленіемъ всего около $1^1/_2$ атмосферы. Если паръ поступаетъ въ цилиндръ все время, пока сохраняется соединеніе съ конденсаторомъ, то его энергія расходуется безполезно, такъ какъ паръ выходитъ изъ цилиндра раньше, чѣмъ была использована вся его упругость. Чтобы избѣгнуть этой потери, Ваттъ устроилъ золотникъ такимъ образомъ, что онъ прекращалъ доступъ пара (отсѣкалъ паръ) раньше, чѣмъ поршень доходилъ до конца цилиндра. Пока поршень движется въ цилиндрѣ отъ *A* до *B* (рис. 91), паръ дѣйствуетъ полнымъ своимъ давленіемъ. Затѣмъ паръ отсѣкается и поршень продолжаетъ двигаться лишь силой расширенія пара. При движеніи поршня въ остальной части цилиндра сила расширенія пара постепенно уменьшается согласно закону Бойля (ср. § 81). Моментъ, когда паръ отсѣкается и когда начинаетъ дѣйствовать расширеніе, опредѣляется такъ, чтобы поршень достигалъ конца цилиндра съ небольшимъ излишкомъ давленія по одну сторону. Работа, произведенная единичнымъ движеніемъ поршня въ машинѣ съ расширеніемъ, конечно, меньше, чѣмъ въ машинѣ безъ расширенія, такъ какъ во время расширенія поршень находится подъ дѣйствіемъ быстро убывающаго давленія. Въ верхней части рисунка линіи *ac* и *bd* представляютъ величины давленія пара при движеніи поршня подъ полнымъ давленіемъ отъ *A* до *B*. Затѣмъ паръ отсѣкается и отъ *B* до *C* поршень движется только дѣйствіемъ расширенія, т. е. дѣйствіемъ быстро убывающаго давленія. Если представить величину давленія пара для всѣхъ положеній поршня перпендикулярами, напримѣръ, для точекъ *M* и *N* перпендикулярами *gh* и *ij*, какъ это сдѣлано для *A* и *B*, а затѣмъ соединить концы всѣхъ этихъ перпендикуляровъ, то получится кривая линія *dhjf*, которая наглядно изображаетъ убываніе дѣйствующей на поршень силы.

Рис. 91



Давленіе пара въ цилиндрѣ.

Машина съ расширеніемъ производитъ, правда, меньшее количество работы, чѣмъ машина, дѣйствующая паромъ равномѣрной упругости безъ расширенія, но, съ другой стороны, при той же производительности она требуетъ гораздо меньше пара, чѣмъ машина безъ расширенія. Поэтому теперь пользуются исключительно машинами съ расширеніемъ.

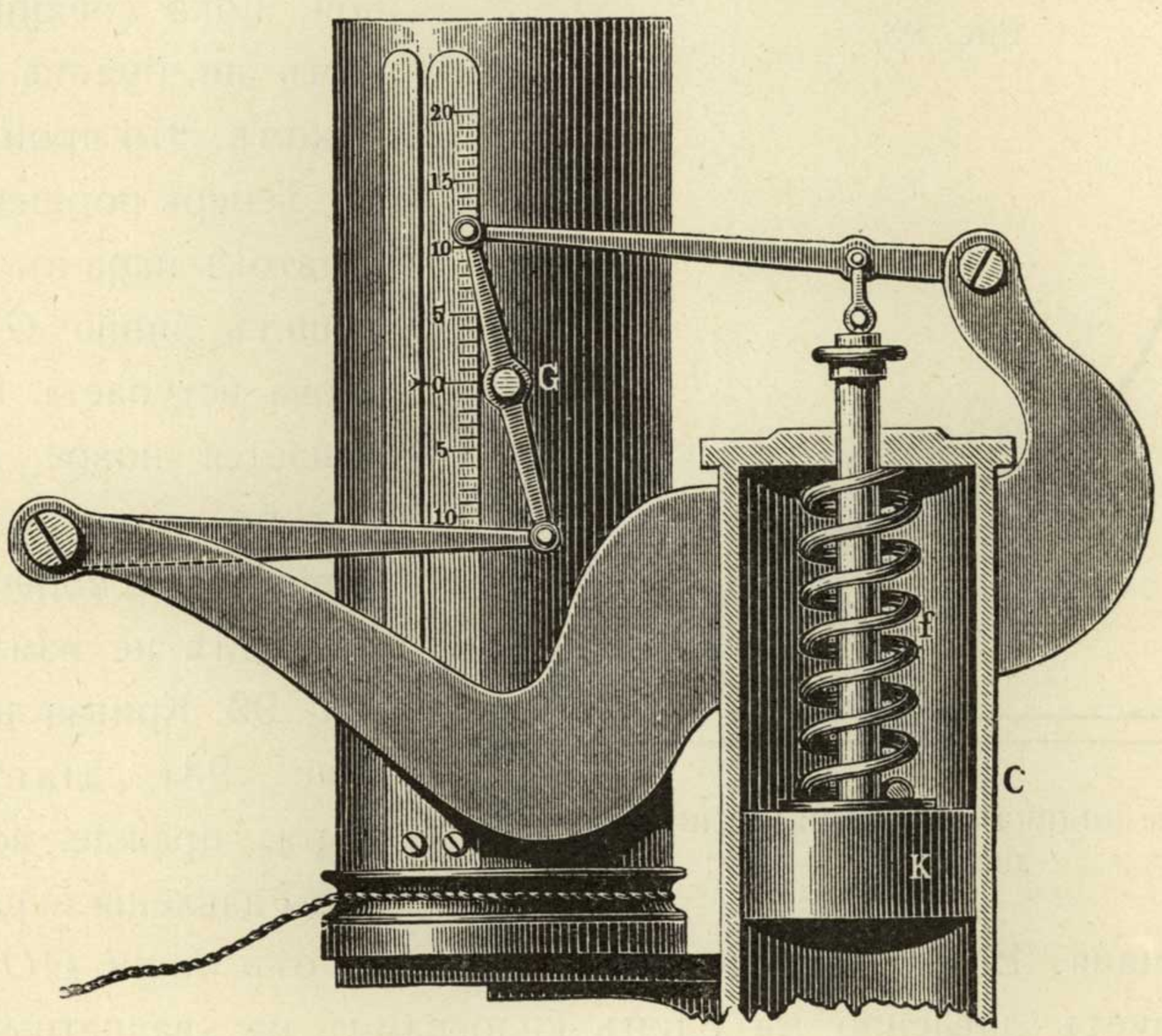
http://mathesis.ru

98. Для измѣренія давленія пара при различныхъ положеніяхъ поршня Ваттъ построилъ такъ называемый индикаторъ, изображенный на рис. 92 въ его современной формѣ.

Небольшой цилиндръ *C* съ поршнемъ *K* соединяется съ цилиндромъ машины посредствомъ трубки, снабженной краномъ. Поршень *K* виситъ на спиральной пружинѣ *f* и стержень этого поршня соединяется съ рычагомъ, котораго средняя часть снабжена пишущимъ остріемъ *G*; это перо можетъ двигаться только вверхъ и внизъ, касаясь поверхности цилиндра, обернутаго бумагой.

Пока кранъ между индикаторомъ и цилиндромъ машины закрытъ, давленіе пара не дѣйствуетъ на поршень *K*. Индикаторъ находится въ положеніи, указанномъ на рисункѣ, и перо *G* стоитъ на нулѣ дѣленій. Невидимая на рисункѣ пружина

Рис. 92



Индикаторъ Ватта.

удерживаетъ цилиндръ, къ которому прижимается перо *G*, неподвижно въ указанномъ положеніи. Но при помощи виднаго внизу шнурка этотъ цилиндръ можетъ поворачиваться вокругъ своей оси несмотря на пружину. Этотъ шнурокъ такъ соединенъ съ поршневымъ стержнемъ машины, что при движеніи поршня впередъ цилиндръ вращается въ одну сторону, а при обратномъ ходѣ поршня указанной пружиной поворачивается въ первоначальное положеніе.

При закрытомъ кранѣ поршень *K*, а также и перо находятся въ покоѣ и послѣднее чертитъ на бумагѣ горизонтальную линію. Когда же цилиндръ индикатора соединяется съ паровымъ цилиндромъ машины, то пружина *f* сжимается и перо *G* подымается. Такъ какъ пружина сжимается пропорціонально давленію пара, то перемѣщеніе поршня *K*, а значитъ, и перемѣщеніе пера могутъ служить мѣрою величины давленія пара.

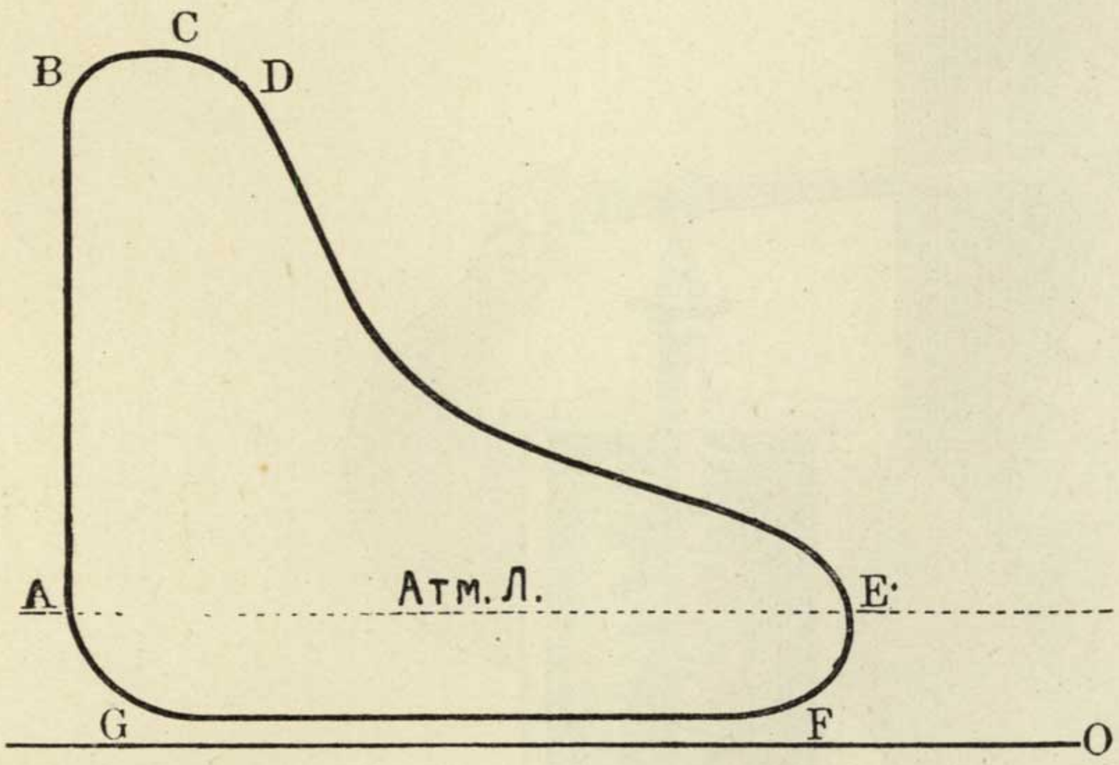
Но если паровая машина работаетъ съ расширеніемъ, то перо *G* чертитъ уже не прямую линію, такъ такъ давленіе пара мѣняется все время, какъ только начинается расширеніе (ср. § 97). Теперь перо чертитъ сомкнутую кривую линію, изображенную на рис. 93. Такой чертежъ даетъ машина низкаго давленія.

http://mathesis.ru

Пунктирная горизонтальная линія представляетъ ту линію, которую чертитъ перо, пока паръ не вступилъ въ индикаторъ. Эта линія называется „атмосферной линіей“, такъ какъ давленіе подъ поршнемъ при этомъ равняется давленію атмосферы. Точка A соотвѣтствуетъ началу движенія поршня. Въ это мгновеніе входитъ паръ и перо пишетъ линію AB. На короткое время давленіе пара остается неизмѣннымъ и перо чертитъ линію BC (линію пара). Затѣмъ золотникъ начинаетъ отсѣкать паръ. Паръ отсѣкается совершенно, когда перо достигаетъ точки D.

Во время расширенія перо чертитъ линію отъ D до E. Затѣмъ золотникъ устанавливаетъ соединеніе съ конденсаторомъ и перо описываетъ линію EF (линію истеченія), пока паръ выходитъ изъ цилиндра. Затѣмъ поршень идетъ обратно и давленіе (рѣчь идетъ о машинѣ съ конденсаторомъ) остается меньше давленія атмосферы. Его величина зависитъ отъ температуры конденсатора (§ 95), но остается неизмѣнной, пока соединеніе съ послѣднимъ не будетъ прервано золотникомъ. Это происходитъ въ точкѣ G. Теперь поршень долженъ сжать остатокъ пара въ цилиндрѣ и перо пишетъ линію GA. Затѣмъ паръ снова вступаетъ въ цилиндръ, начинается новое движеніе поршня и перо снова описываетъ ту же линію, если, конечно, давленіе пара въ котлѣ не измѣнилось.

Рис. 93



Діаграмма индикатора машины низкаго давленія.

99. Кривая линія $ABCDEFG$ (рис. 93), діаграмма индикатора, прежде всего даетъ величины давленія пара при различныхъ положеніяхъ поршня. Если извѣстно, что разстояніе отъ линіи OO до атмосферной линіи соотвѣтствуетъ давленію въ одинъ килограммъ на квадратный сантиметръ, то можно опредѣлить величину давленія пара для любой точки діаграммы, измѣривъ разстояніе этой точки отъ OO.

Но эта діаграмма даетъ больше, нежели только величину давленія пара. А именно, площадь фигуры на діаграммѣ является мѣрою величины работы, которую паръ отдаетъ поршню во время одного его движенія, дѣйствуя на одну его сторону. При этомъ нужно имѣть въ виду, что при обратномъ ходѣ поршень долженъ преодолѣвать извѣстное давленіе, такъ какъ конденсаторъ не вполнѣ уничтожаетъ давленіе пара.

Разсмотримъ одно изъ положеній поршня, напримѣръ, положеніе, соотвѣтствующее точкѣ m (рис. 94). Въ этомъ случаѣ на поршень въ направленіи движенія дѣйствуетъ давленіе mP. Но на другую сторону поршня дѣйствуетъ встрѣчное давленіе mR, соотвѣтствующее давленію пара въ конденсаторѣ. Такимъ образомъ, движущая сила въ положеніи m есть $mP - mR = RP$.

Когда поршень нѣсколько перемѣстится, напримѣръ, передвинется до точки n, то движущая сила будетъ $nS - nT = TS$. Если точки M и N лежатъ достаточно близко другъ къ другу, то RP и TS равны и фигура $RPST$ представляетъ прямоугольникъ, площадь котораго равна произведенію RP на mn.

http://mathesis.ru

Но работа, которую паръ передаетъ поршню при его движеніи отъ m до n, равна произведенію давленія на пройденный путь. Движущая же сила (давленіе) здѣсь равна RP, а путь равенъ mn. Такимъ образомъ, указанная работа выражается произведеніемъ $RP \times mn$ и прямоугольникъ $RPST$ является мѣрой той работы, которую поршень получаетъ отъ пара при своемъ движеніи отъ m до n.

Если весь путь, пройденный поршнемъ отъ A до E, раздѣлить на небольшія части, какъ MN, и начертить соотвѣтственные прямоугольники, то легко видѣть, что сумма этихъ прямоугольниковъ, т. е. площадь діаграммы, является мѣрой работы, полученной поршнемъ при его движеніи отъ одного крайняго положенія до другого.

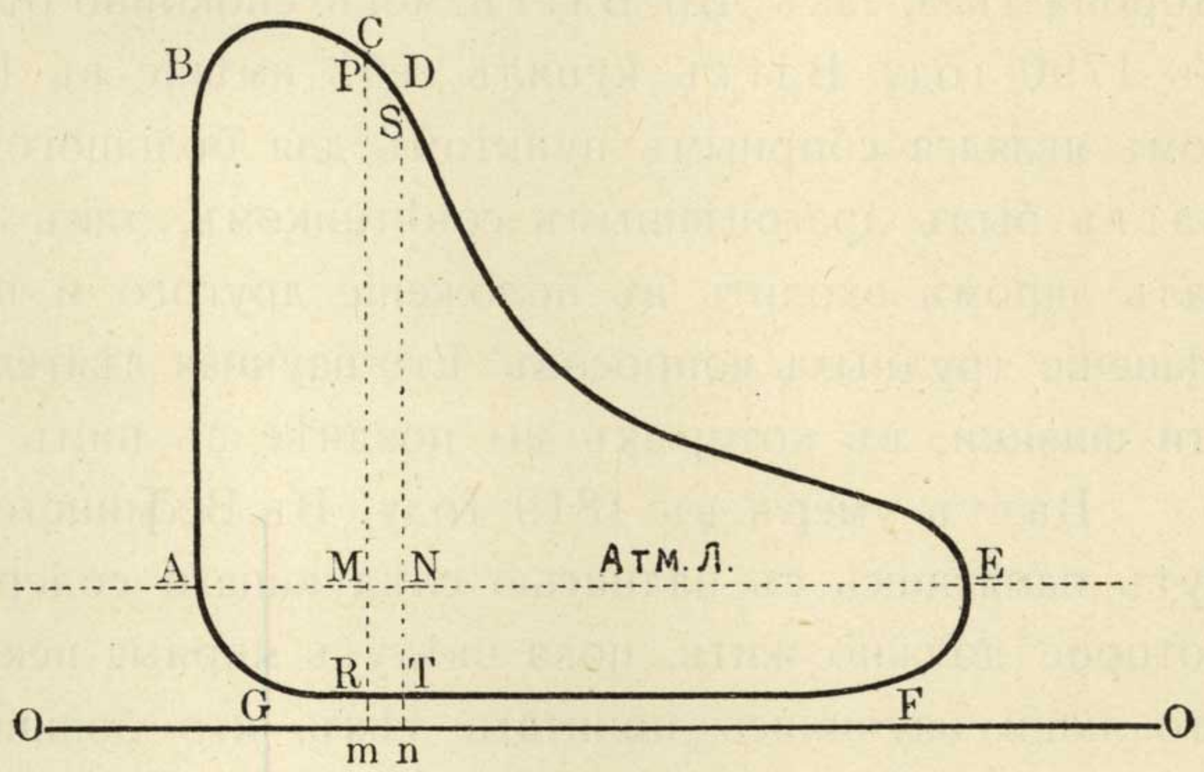
100. Діаграмма машины высокаго давленія отличается отъ діаграммы машины низкаго давленія главнымъ образомъ тѣмъ, что она вся лежитъ выше атмосферной линіи (рис. 95), такъ какъ противодѣйствующее давленіе въ такой машинѣ всегда больше атмосфернаго.

Если выразить давленіе пара въ килограммахъ, а движеніе поршня въ метрахъ, то величина работы получится въ килограмметрахъ.

Дѣйствительное количество работы, такъ называемое полезное дѣйствіе машины, однако, меньше того, которое получается по индикатору и которое обозначается названіемъ индикаторной работой. Именно, часть этой работы пропадаетъ вслѣдствіе тренія между частями машины.

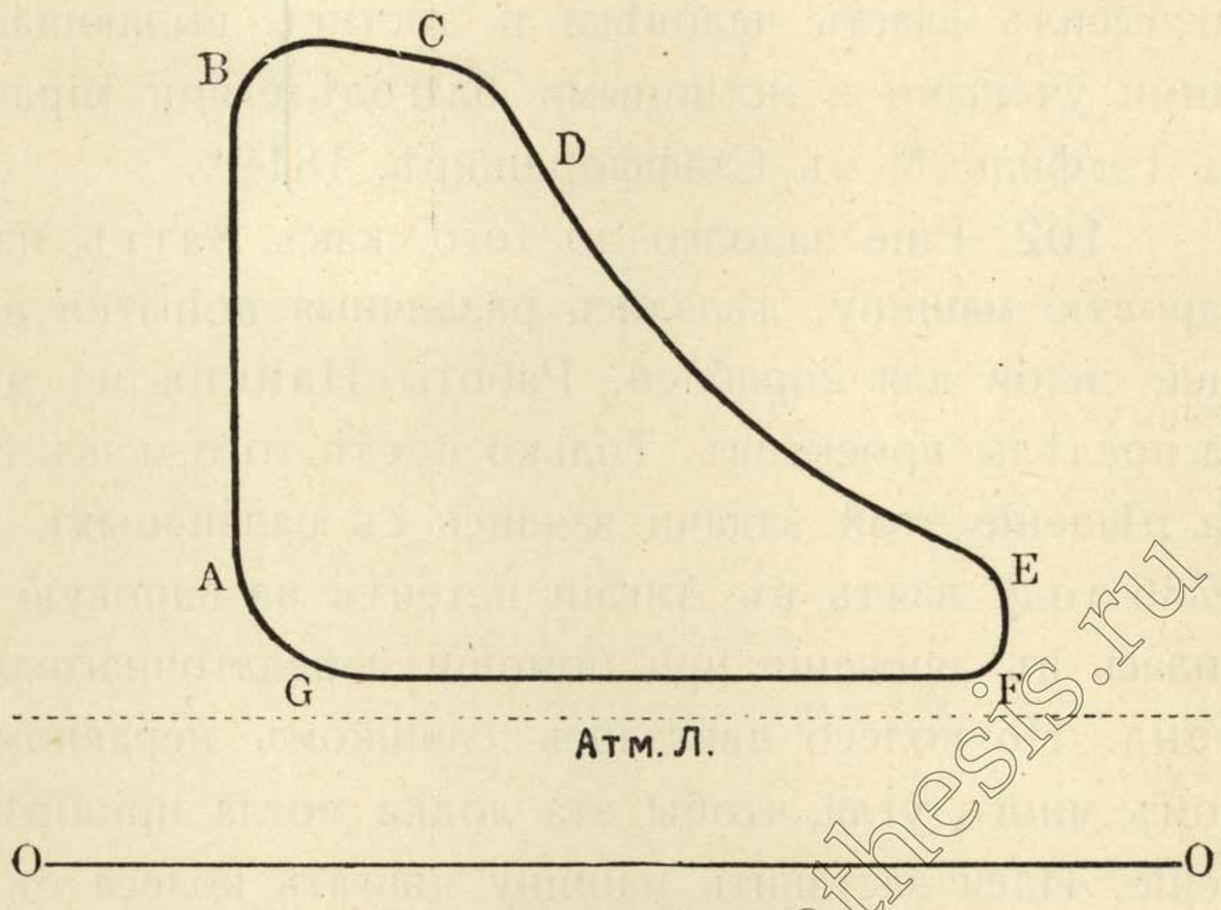
Но важна не только величина, важна также и форма діаграммы. Въ самомъ дѣлѣ, по ней можно видѣть, герметично ли пригнаны золотникъ и поршень, правильно ли положеніе золотника. Если діаграмма имѣетъ ненормальную форму, то это означаетъ, что въ машинѣ есть недостатки, которые должны быть устранены. Поэтому испытаніе съ помощью индикатора играетъ важную роль при установкѣ и при контролѣ золотника.

Рис. 94



Разсчетъ діаграммы индикатора.

Рис. 95



Діаграмма индикатора машины высокаго давленія.

101. Находящаяся въ употребленіи въ настоящее время паровая машина въ существенномъ есть машина Ватта съ золотникомъ, кривошипомъ, маховикомъ и регуляторомъ. Само собою разумѣется, въ соотвѣтствіи съ различными примѣненіями машина въ отдѣльныхъ частяхъ измѣнялась и улучшалась, но въ главной основѣ она

http://mathesis.ru

остается прежней. Впрочемъ, конденсаторъ находитъ примѣненіе только въ очень большихъ неподвижныхъ машинахъ, а также во всѣхъ судовыхъ машинахъ.

Такова была геніальная неустанная работа этого человѣка, обратившая силу пара въ послушнаго слугу человѣка. Работа Ватта имѣла основное значеніе. За нимъ послѣдовалъ цѣлый рядъ людей, продолжавшихъ надстраивать на возведенномъ имъ основаніи.

Вначалѣ едвали можно было догадываться, какое многостороннее примѣненіе должна была найти машина Ватта. Она является неисчерпаемымъ источникомъ энергіи, а разъ въ распоряженіи имѣется энергія въ неограниченномъ количествѣ, то дѣятельности человѣка неминуемо должны открываться новыя области, что̀ въ свою очередь должно оказывать благотворное вліяніе на развитіе культуры.

Въ товариществѣ Ватта съ Бультономъ на послѣднемъ лежала коммерческая сторона дѣла, такъ что Ваттъ могъ спокойно отдаваться своимъ научнымъ работамъ. Въ 1790 году Ваттъ купилъ себѣ имѣніе въ Гэтфильдѣ близъ Бирмингэма и его домъ являлся сборнымъ пунктомъ для большого круга близкихъ и далекихъ друзей. Ваттъ былъ драгоцѣннымъ совѣтникомъ, такъ какъ онъ въ высокой степени обладалъ даромъ входить въ положеніе другого и проникаться его мыслями и находить рѣшеніе трудныхъ вопросовъ. Его научная дѣятельность повела его и въ другія области физики, въ которыхъ мы позднѣе съ нимъ встрѣтимся.

Ваттъ умеръ въ 1819 году. Въ Вестминстерскомъ аббатствѣ ему былъ воздвигнутъ памятникъ съ надписью слѣдующаго содержанія: „Не для увѣковѣченія имени, которое должно жить, пока цвѣтутъ мирныя искусства, но для того, чтобы показать, что люди научились почитать тѣхъ, кто больше всего заслуживаетъ ихъ благодарности, король, его министры и множество дворянъ и горожанъ Королевства воздвигли этотъ памятникъ Джэмсу Ватту, который приложилъ изощренное научнымъ изслѣдованіемъ дарованіе къ улучшенію паровой машины, умножилъ богатства своей страны, возвысилъ власть человѣка и достигъ выдающагося положенія между знаменитѣйшими учеными и истинными благодѣтелями міра. Родился въ Гринокѣ 1736, умеръ въ Гэтфильдѣ, въ Стаффордширѣ, 1819“.

102. Еще задолго до того, какъ Ваттъ изобрѣлъ свою усовершенствованную паровую машину, дѣлались различныя попытки воспользоваться паромъ, какъ движущей силой для кораблей. Работы Папена по этому предмету не выходили далеко за предѣлы проектовъ. Только послѣ того, какъ стала извѣстна машина Ньюкомена, за рѣшеніе этой задачи взялись съ различныхъ сторонъ. Джонатанъ Гуллсъ въ 1736 году взялъ въ Англіи патентъ на паровую колесную лодку; ось колеса приводилась въ движеніе при помощи передаточнаго ремня или паса отъ машины Ньюкомена. Но колесо двигалось слишкомъ неравномѣрно и машина расходовала слишкомъ много угля, чтобы эта лодка могла пріобрѣсти какое-нибудь практическое значеніе. Идея заставить машину двигать колеса съ лопастями, впрочемъ, вовсе не была новой. На старинныхъ римскихъ медаляхъ изъ временъ до Р. Х. находятъ иногда изображенія военныхъ кораблей съ лопастными колесами, а въ Китаѣ лодки съ четырьмя лопастными колесами были въ употребленіи съ древнѣйшихъ историческихъ временъ.

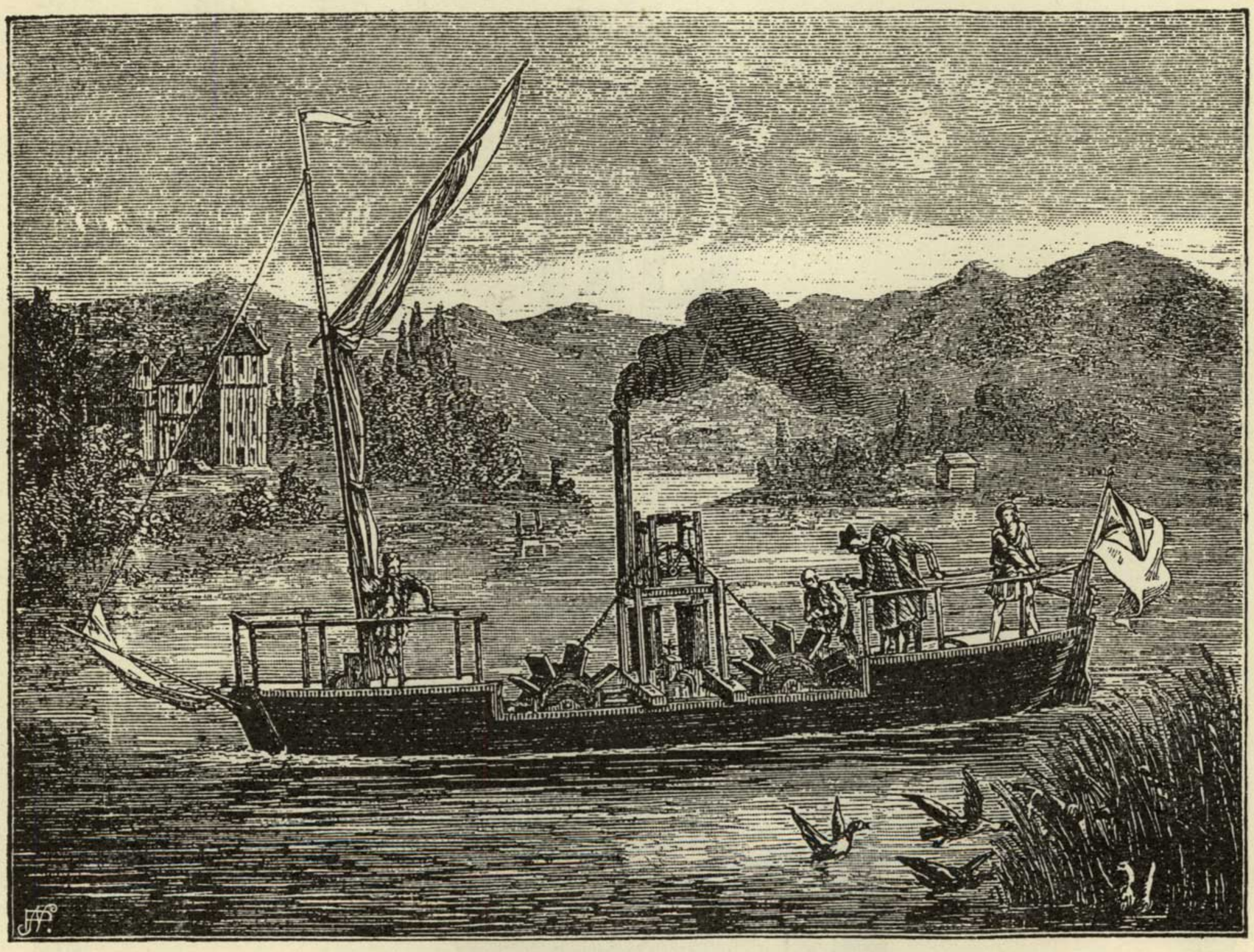
Колеса съ лопастями можно разсматривать, какъ рядъ веселъ, давящихъ на воду послѣдовательно одно за другимъ; передъ нѣсколькими отдѣльными веслами колесо имѣетъ то большое преимущество, что его можно двигать при помощи одной

http://mathesis.ru

оси. Это позволяетъ пользоваться для движенія корабля во время штиля иными движущими силами помимо мускульной силы человѣка. Въ средніе вѣка и даже еще въ XVIII вѣкѣ преступники присуждались къ „галерамъ“, т. е. должны были служить въ качествѣ гребцовъ на военныхъ судахъ. Но для увѣреннаго движенія сколько-нибудь большого судна требовалась команда въ нѣсколько сотъ человѣкъ. Поэтому пытались для этой цѣли пользоваться силой животныхъ, которыхъ ставили на приводъ, двигавшій колесо съ лопастями. Но, конечно, къ этому средству можно было прибѣгать только на спокойной водѣ, такъ какъ при бурномъ состояніи моря работа животныхъ становилась невозможной вслѣдствіе колебаній судна.

Легко понять, что какъ для военнаго, такъ и для торговаго флота было весьма существенно имѣть въ распоряженіи движущую силу, независящую отъ вѣтра. Пока передвиженіе по морю зависѣло исключительно отъ вѣтра, не было возможности опредѣлять продолжительность морскихъ путешествій и при неблагопріятномъ вѣтрѣ

Рис. 96



Паровая лодка Саймингтона.

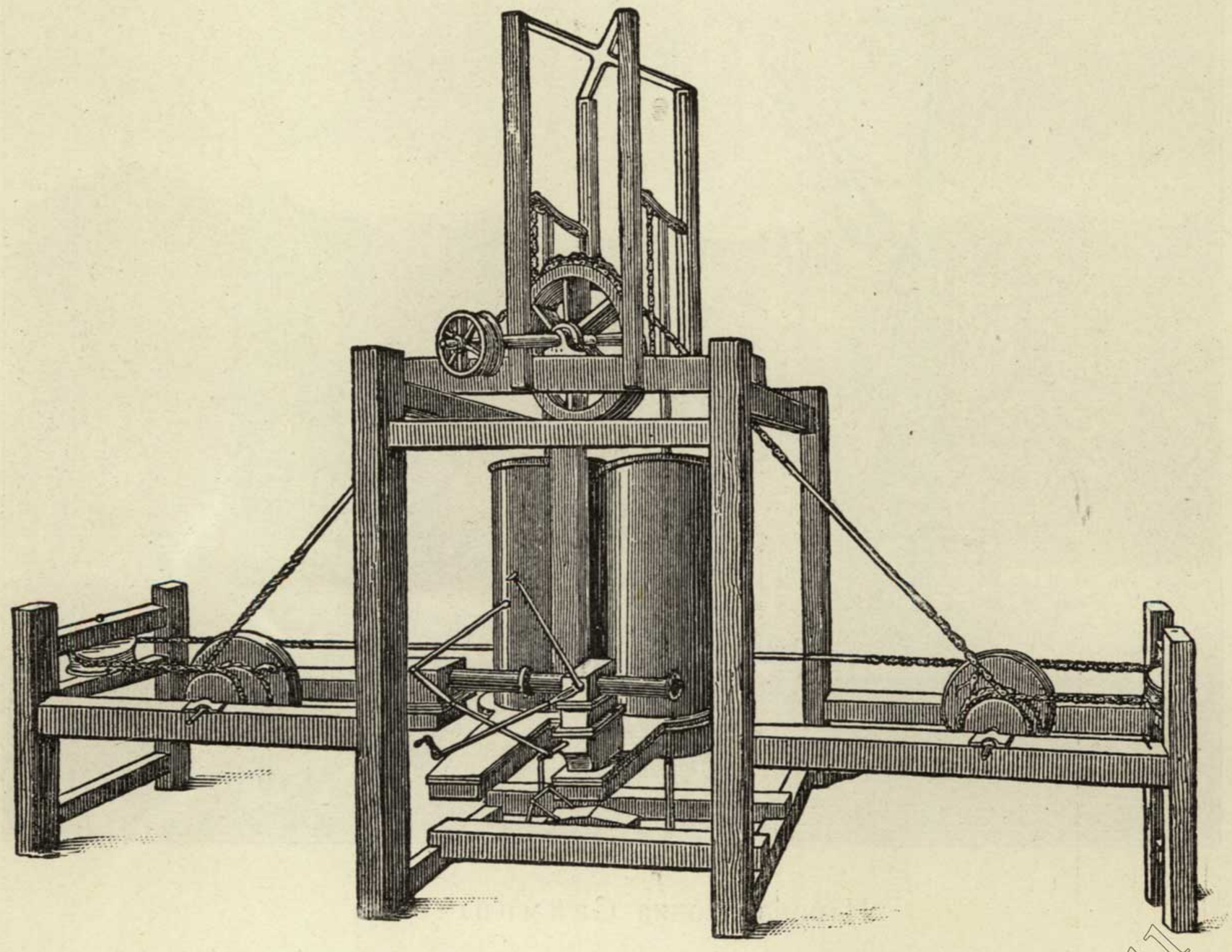
движеніе прекращалось даже на болѣе короткихъ разстояніяхъ. Французская Академія предложила премію за изслѣдованіе того, какія средства существуютъ для движенія судовъ безъ помощи вѣтра; для состоянія паровой машины въ первой половинѣ XVIII вѣка характерна оцѣнка этой машины въ двухъ работахъ, представленныхъ Академіи. Математикъ Даніель Бернулли (1700—1782) не призналъ пара подходящей движущей силой для кораблей, такъ какъ машина Ньюкомена дѣйствовала недостаточно сильно, чтобы двигать съ надлежащей быстротой болѣе значительное судно. Бернулли былъ правъ постолько, посколько были вообще негодны имѣвшіяся въ то время паровыя машины. Но былъ правъ и авторъ другого сочиненія аббатъ Готье, который утверждалъ, что паровая машина есть единственное извѣстное средство, могущее быть примѣненнымъ къ движенію кораблей съ надеждой на успѣхъ. Ему

http://mathesis.ru

удалось также показать, что въ предложенномъ случаѣ даже менѣе сильныя атмосферныя машины имѣли большія преимущества передъ человѣческой мускульной силой. Галера съ 26 веслами на каждой сторонѣ, изъ коихъ каждое требовало пяти человѣкъ, должна была имѣть 520 гребцовъ—2 смѣны по 260 человѣкъ. Издержки на содержаніе такой команды были больше издержекъ на уголь и машины, а 520 человѣкъ требовали больше мѣста, чѣмъ уголь и машины. Готье пришелъ къ заключенію, что движущей силой для кораблей можно считать только силу пара.

103. Увѣренность Готье нашла себѣ подтвержденіе въ машинѣ Ватта. Но прочно и практично соединить машину Ватта съ колесомъ съ лопастями удалось только послѣ многихъ тщетныхъ попытокъ. Цѣлому ряду французовъ, несмотря на утомительную и напряженную работу, не удалось выйти изъ стадіи опытовъ; то же происходило и въ Шотландіи. Здѣсь молодой инженеръ Вильямъ Сайминггтонъ построилъ паровую лодку (рис. 96), машина которой изображена на рис. 97. Эта машина имѣла два цилиндра, помѣщавшихся на палубѣ судна. Стержни поршней дви-

Рис. 97



Машина паровой лодки Сайминггтона.

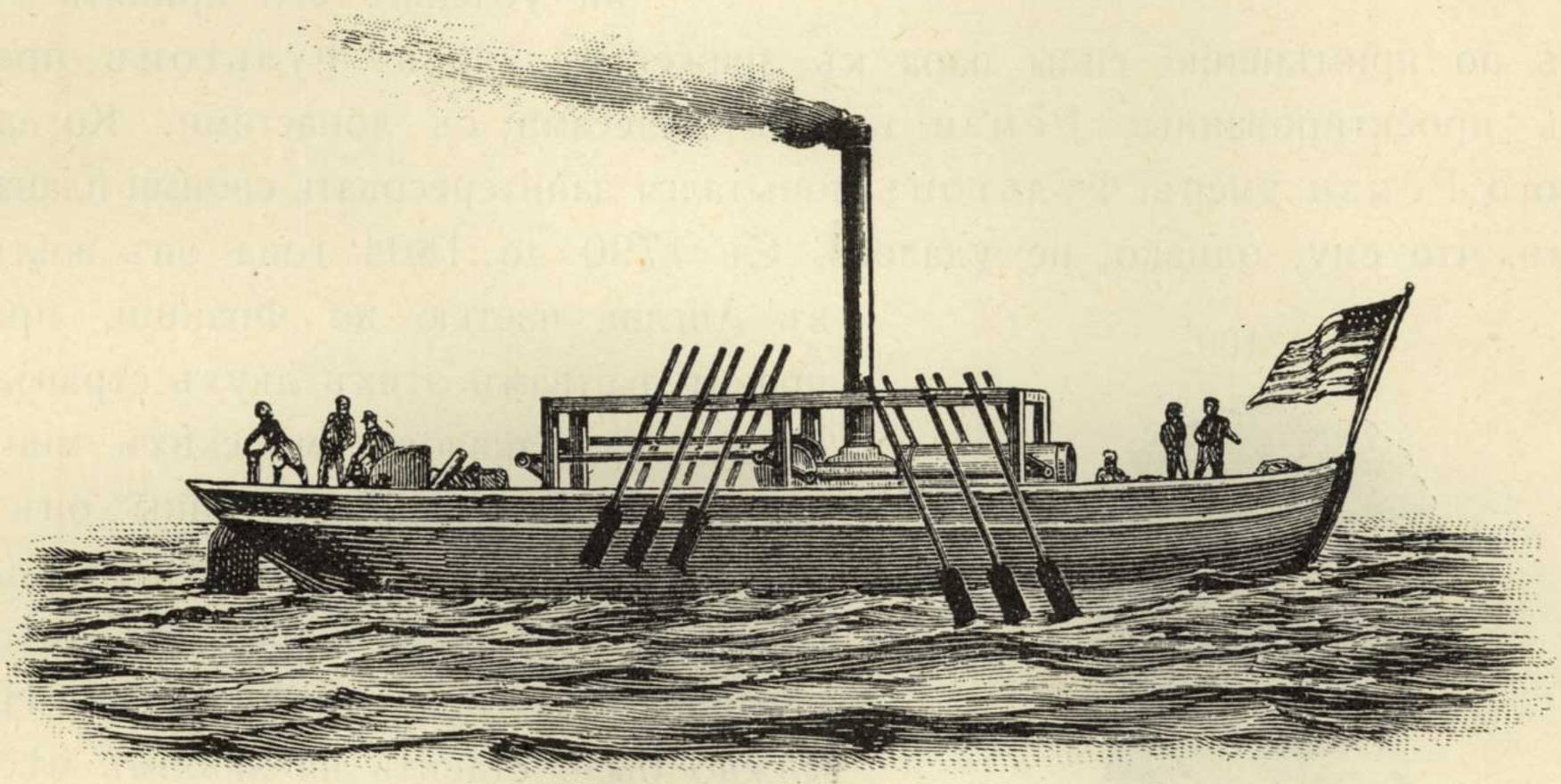
гали каждый одну поперечину вверхъ и внизъ въ рамѣ, а эти поперечины тянули концы цѣпи, лежавшей въ одномъ изъ жолобовъ двойного блока. По другому жолобу этого блока проходила безконечная цѣпь, перекинутая, сверхъ того, черезъ два другіе блока, изъ которыхъ одинъ находился передъ цилиндрами, а другой позади нихъ. Эти блоки были свободно насажены на оси двухъ колесъ съ лопастями (см. рис. 96 и 97), но благодаря особому задерживающему крючку блоки передавали свое движеніе осямъ и, слѣдовательно, колесамъ только въ одномъ направленіи. Когда машина приводилась въ дѣйствіе, оси начинали вращаться, когда двойной блокъ двигался въ одномъ направленіи. Когда же онъ двигался въ обратномъ направленіи, то

http://mathesis.ru

задерживающіе крючки не дѣйствовали, оси же продолжали вращаться по инерціи, разъ судно находилось въ движеніи. Въ небольшой лодкѣ, для которой не требовалось значительной движущей силы, можно было пользоваться этой сложной машиной, но для большихъ судовъ она не годилась, такъ какъ постоянное измѣненіе давленій слишкомъ быстро изнашивало цѣпи и оси.

104. Наконецъ, нашлось нѣсколько человѣкъ въ Новомъ Свѣтѣ, которымъ удалось рѣшить задачу. Джонъ Фичъ, часовщикъ изъ Филадельфіи, первый пытался привести въ движеніе лодку при помощи веселъ, которыя двигались посредствомъ машины двойного дѣйствія. Въ 1789 году на такой лодкѣ (рис. 98) дѣлались пробныя поѣздки по рѣкѣ Делавару. Эта лодка имѣла шесть паръ веселъ и двигалась со скоростью восьми англійскихъ миль въ часъ. Однако, Фичъ скоро увидѣлъ, что его

Рис. 98



Весельная лодка Фича.

лодка имѣла значительные недостатки. Ему хотѣлось продолжить свои опыты и, не найдя поддержки въ Америкѣ, онъ въ 1782 году поѣхалъ въ Европу. Благодаря посредничеству Бриссо, онъ имѣлъ случай заинтересовать своими проектами членовъ Конвента въ Парижѣ. Но вскорѣ послѣ того Бриссо потерялъ свое значеніе (впослѣдствіи онъ былъ гильотинированъ вмѣстѣ съ Жирондистами) и Фичъ, ничего не добившись, вернулся въ Америку. Въ отчаяніи отъ своего безвыходнаго положенія онъ покончилъ жизнь самоубійствомъ, утопившись.

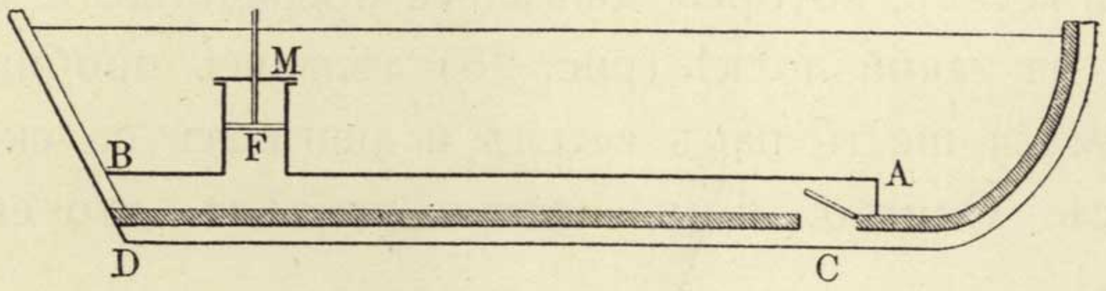
105. Совершенно инымъ путемъ пытался рѣшить задачу о движеніи судна Рёмзи. Рёмзи накачивалъ воду въ корабль и затѣмъ при помощи сильнаго нагнетательнаго насоса въ задней части корабля снова выпускалъ ее. Вслѣдствіе этого корабль долженъ двигаться впередъ (ср. § 56). Въ *C* (рис. 99) вода входитъ черезъ клапанъ *A*, пока поршень *F* подымается, а въ *B* при опусканіи поршня она вытѣсняется черезъ клапанъ, открывающійся наружу. Рёмзи поѣхалъ въ Англію, гдѣ и умеръ, не доживъ до выполненія своего плана. Однако, его работа косвеннымъ образомъ принесла большую пользу, такъ какъ она побудила Роберта Фультона взяться за его работы о пароходномъ движеніи.

106. Робертъ Фультонъ родился отъ бѣдныхъ ирландскихъ родителей въ 1765 году въ Малой Британіи (Пенсильванія). Сперва онъ нѣсколько времени нахо-

http://mathesis.ru

дился въ ученіи у ювелира. Однако, онъ бросилъ это ремесло, чтобы заняться, согласно своей склонности, живописью. 17 лѣтъ отъ роду онъ уже былъ въ состояніи содержать своимъ искусствомъ себя и свою мать—вдову, онъ зарабатывалъ даже такъ хорошо, что могъ купить своей матери маленькое помѣстье. Въ 1786 году Фультонъ, снабженный хорошими рекомендаціями, пріѣхалъ въ Англію, чтобы здѣсь заняться своимъ дальнѣйшимъ образованіемъ. Однако, убѣдившись въ томъ, что въ живописи онъ не достигнетъ большихъ результатовъ, Фультонъ бросилъ искусство и обратился къ техникѣ, особенно къ постройкѣ машинъ.

Рис. 99



Лодка Рёмзи.

Въ 1788 году Фультонъ встрѣтился въ Лондонѣ съ Рёмзи. Послѣдній убѣдилъ его принять участіе въ работахъ по примѣненію силы пара къ движенію судовъ. Фультонъ предложилъ замѣнить проектированные Рёмзи насосы колесами съ лопастями. Когда вскорѣ послѣ того Рёмзи умеръ, Фультонъ попытался заинтересовать своими планами капиталистовъ, что ему, однако, не удалось. Съ 1790 до 1804 года онъ жилъ частью въ Англіи, частью во Франціи, представляя правительствамъ этихъ двухъ странъ проекты сооруженія каналовъ, морскихъ минъ и подводныхъ лодокъ. Свои мины онъ назвалъ торпедами. Онѣ состояли изъ мѣдныхъ ящиковъ, наполненныхъ порохомъ, которые при помощи его подводной лодки Наутилусъ можно было ставить на любомъ мѣстѣ.

Рис. 100



Робертъ Фультонъ.

Одно время Наполеонъ очень интересовался изобрѣтеніями Фультона. Однако, послѣ того какъ нѣсколько попытокъ взорвать на воздухъ англійскія военныя суда не удались, онъ бросилъ это дѣло.

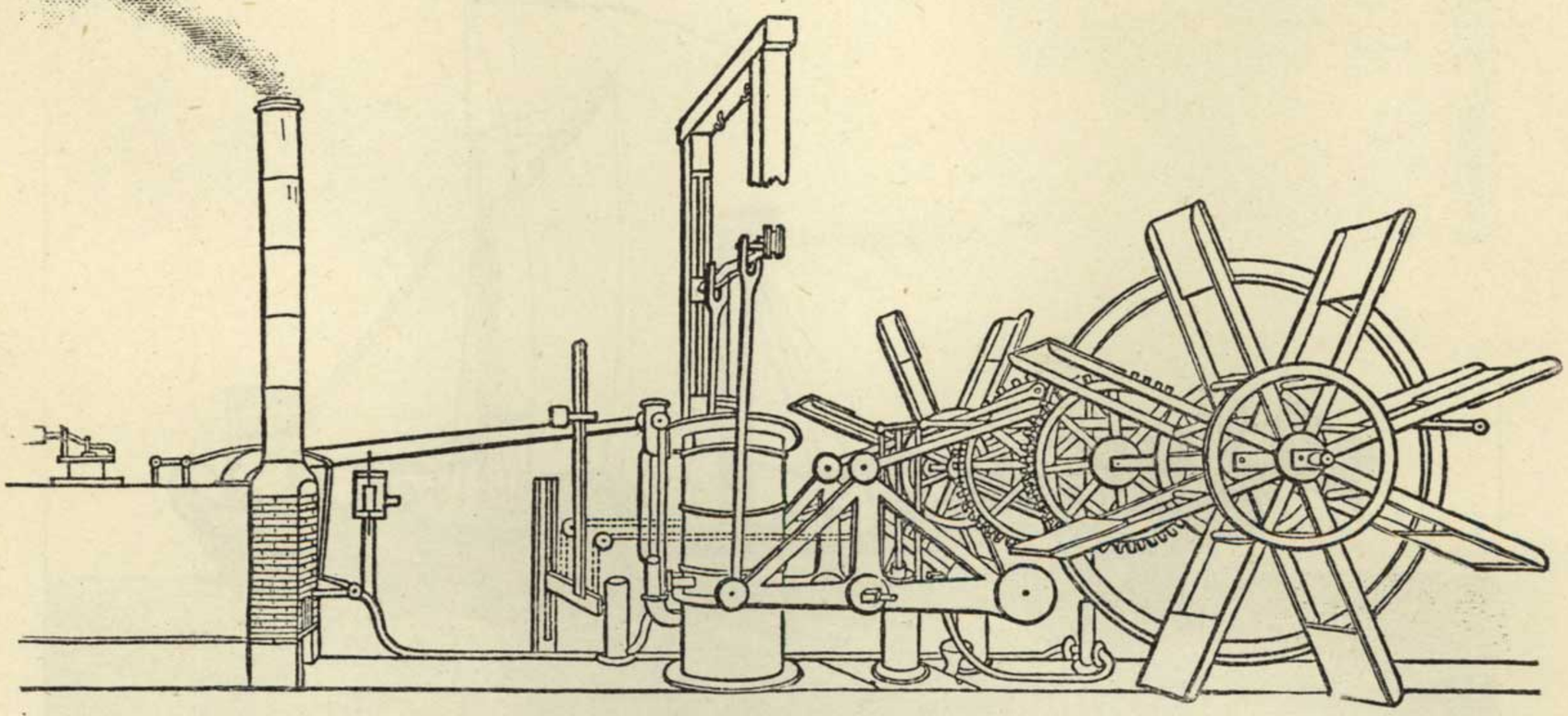
107. Впрочемъ, несмотря на множество другихъ проэктовъ, Фультонъ не забывалъ своего парового судна. Въ 1801 году онъ съѣздилъ въ Шотландію, чтобы здѣсь ознакомиться съ паровой лодкой, которую построилъ упомянутый выше Саймингтонъ и которая была снабжена машиной двойного дѣйствія. Саймингтонъ описываетъ посѣщеніе Фультона слѣдующимъ образомъ: „Въ то время какъ я былъ занятъ своими опытами (надъ паровымъ судномъ), меня посѣтилъ г. Фультонъ, который разсказалъ мнѣ, что онъ живетъ въ Сѣверной Америкѣ, куда и собирается вернуться черезъ нѣсколько мѣсяцевъ. Но услышавъ о нашихъ опытахъ съ паровой лодкой, онъ счелъ невозможнымъ покинуть эту страну, не поговоривъ раньше со мною, не увидѣвъ лодки, если возможно, и не получивъ о ней указаній, какія я пожелалъ бы дать. Въ самомъ дѣлѣ, если это изобрѣтеніе имѣло большое значеніе для Великобританіи, то еще гораздо бо́льшее значеніе оно имѣло бы для Америки съ ея множествомъ судоходныхъ рѣкъ. Чтобы удовлетворить его желаніе, я приказалъ развести огонь и про-

http://mathesis.ru

ѣхалъ съ нимъ по каналу разстояніе въ 4 англійскихъ мили въ одномъ и въ другомъ направленіи. Мы употребили на эту поѣздку 1 часъ 20 минутъ. Слѣдовательно, мы двигались со скоростью 6 миль въ часъ. Фультонъ былъ очень пораженъ. Во время поѣздки онъ попросилъ позволенія сдѣлать нѣсколько замѣтокъ о паровомъ суднѣ. Я ничего не могъ имѣть противъ этого, такъ какъ желалъ, чтобы дѣло это стало извѣстно въ возможно болѣе широкихъ кругахъ, и такъ какъ въ Англіи я былъ огражденъ патентомъ. Кромѣ того, въ Америкѣ я во всякомъ случаѣ не могъ получить патента. Фультонъ сдѣлалъ свои рисунки и я далъ ему откровенные отвѣты на его различные вопросы о машинахъ".

Фультонъ и въ самомъ дѣлѣ имѣлъ намѣреніе вернуться въ Америку. Французское правительство отказало ему въ поддержкѣ для опытовъ и у него не было никакихъ основаній жить въ Парижѣ дальше. Поэтому онъ отправился къ американскому консулу Роберту Ливингстону, чтобы проститься съ нимъ. Послѣдній раньше также занимался сооруженіемъ парового судна и, когда узналъ о планахъ Фультона, убѣдилъ послѣдняго остаться въ Парижѣ. Ливингстонъ былъ готовъ доставить средства, нужныя для производства рѣшительнаго опыта съ паровымъ суднома. Фультонъ ознакомился со всѣми прежними попытками и, какъ это ни удивительно, пришелъ къ результату, что наилучшей является система веселъ Фича. Однако, оказалось, что этотъ планъ въ большихъ размѣрахъ невыполнимъ, и потому онъ построилъ колесное паровое судно, которое совершило свою первую поѣздку въ 1803 году. Это судно было длиною въ 100 футовъ и шириною въ 10 футовъ. Дѣло

Рис. 101



Паровая машина „Клермонта".

возбудило большой интересъ и часть членовъ Академіи приняла участіе въ пробной поѣздкѣ. Фультонъ объявилъ, что онъ готовъ сообщить свои планы правительству за умѣренную сумму; однако, его предложеніе было отклонено. Наполеонъ, которому очень досаждали всякіе прожектёры, не позаботился вникнуть въ дѣло глубже. Прими онъ предложеніе Фультона, его жизнь не закончилась бы, можетъ быть, на островѣ Св. Елены.

108. Между тѣмъ Ливингстонъ послалъ Конгрессу извѣстіе объ удачномъ исходѣ опытовъ и добился удлиненія срока патента, взятаго имъ раньше, на 20 лѣтъ, начиная съ 1803 года. У Фультона и Ватта была заказана сильная машина двой-

http://mathesis.ru

ного дѣйствія, немедленно по изготовленіи посланная въ Нью-Іоркъ. Два машиниста изъ Сого пріѣхали въ Америку, чтобы наблюдать за установкой машины.

Лѣтомъ 1807 года Фультонъ поставилъ эту машину на крѣпкое судно въ 160 футовъ длины и въ 16 футовъ ширины. Эта машина изображена на рис. 101. Фультонъ самъ сдѣлалъ всѣ чертежи для постройки машины. Машина имѣла два цилиндра и каждый изъ двухъ поршней дѣйствовалъ на особое коромысло, помѣщавшееся возлѣ цилиндра. Движеніе коромысла передавалось на ось колесъ посредствомъ шатуна и кривошипа. Особое преимущество этой машины состояло въ простотѣ устройства и въ прочности соединенія ея съ осью колесъ. Каждый изъ поршней помогалъ кривошипу другого переходитъ черезъ мертвую точку, такъ что машину можно было легко приводить въ движеніе.

11 августа 1807 года „Клермонтъ“—такъ судно было названо по имѣнію Ливингстона—предпринялъ свое знаменитое путешествіе по рѣкѣ Гёдзонъ изъ Нью-Іорка до Олбени. Разстояніе въ 36 географическихъ миль было пройдено въ 32 часа. Послѣ этого судно поддерживало правильное сообщеніе между двумя названными городами.

Этимъ былъ проломленъ ледъ въ дѣлѣ пароходнаго сообщенія и человѣчество вступило въ обладаніе однимъ изъ важнѣйшихъ средствъ развитія культуры XIX вѣка.

Рис. 102



Датскій почтовый пароходъ „Каледонія“.

Фультонъ дожилъ только до начала того огромнаго развитія, котораго вскорѣ достигло пароходное сообщеніе. Уже въ 1815 году онъ умеръ, достигнувъ едва 50 лѣтъ.

Въ Европѣ первое паровое судно, совершавшее правильное плаваніе, начало ходить по рѣкѣ Кляйду въ 1812 году. Строителемъ этого судна былъ одинъ знакомый Фультона, шотландскій механикъ Генри Белль. Первое болѣе значительное путешествіе по открытому морю было предпринято на Ламаншѣ (изъ Дёнджженесса въ Гавръ) въ 1816 году капитаномъ Эндріелемъ.

http://mathesis.ru

На Рейнѣ и Эльбѣ первые (англійскіе) пароходы появились въ 1818 году. Въ слѣдующемъ году между Копенгагеномъ и Килемъ сталъ ходить почтовый пароходъ „Каледонія“. Первое путешествіе черезъ Атлантическій океанъ сдѣлалъ пароходъ „Саванна“ въ 1818 году. На переходъ отъ Саванны до Ливерпуля онъ употребилъ 26 сутокъ, но подъ парами онъ шелъ только 18 сутокъ, остальныя же 8 сутокъ подъ парусами. Однако, правильное пароходное сообщеніе между Старымъ и Новымъ Свѣтомъ установилось только съ 1838 года.

109. Важнѣйшее улучшеніе въ пароходномъ сообщеніи послѣ Фультона составляло введеніе винта вмѣсто колесъ.

Уже Даніель Бернулли (§ 102) предлагалъ пользоваться для движенія судовъ винтомъ. Если винтъ, вращающійся въ неподвижной гайкѣ, совершаетъ полный оборотъ, онъ перемѣщается на разстояніе, равное высотѣ его хода (ср. I, § 135, прим. 5). Если гайка винта не вполнѣ неподвижна, такъ что сама дѣлаетъ часть оборота въ то время, какъ винтъ дѣлаетъ полный оборотъ, то перемѣщеніе винта будетъ меньше высоты винтового хода. Но если только гайка не движется вмѣстѣ съ винтомъ, движеніе послѣдняго должно производить перемѣщеніе винта вдоль оси. Бернулли вывелъ отсюда заключеніе, что винтъ, помѣщенный у ахтерштевня судна (въ кормовой части), вращаясь ниже поверхности воды, долженъ приводить судно въ движеніе. Въ самомъ дѣлѣ, окружающую винтъ воду нужно разсматривать, какъ отчасти неподвижную (или отчасти подвижную) гайку. Вода оказываетъ извѣстное сопротивленіе движенію винта и сама не воспринимаетъ скорости винта. Вслѣдствіе этого винтъ перемѣщается и перемѣщаетъ съ собою судно. Предложеніе Бернулли сначала не имѣло практическаго значенія, такъ какъ не было въ распоряженіи движущей силы, посредствомъ которой можно было бы приводить винтъ въ достаточно быстрое вращеніе.

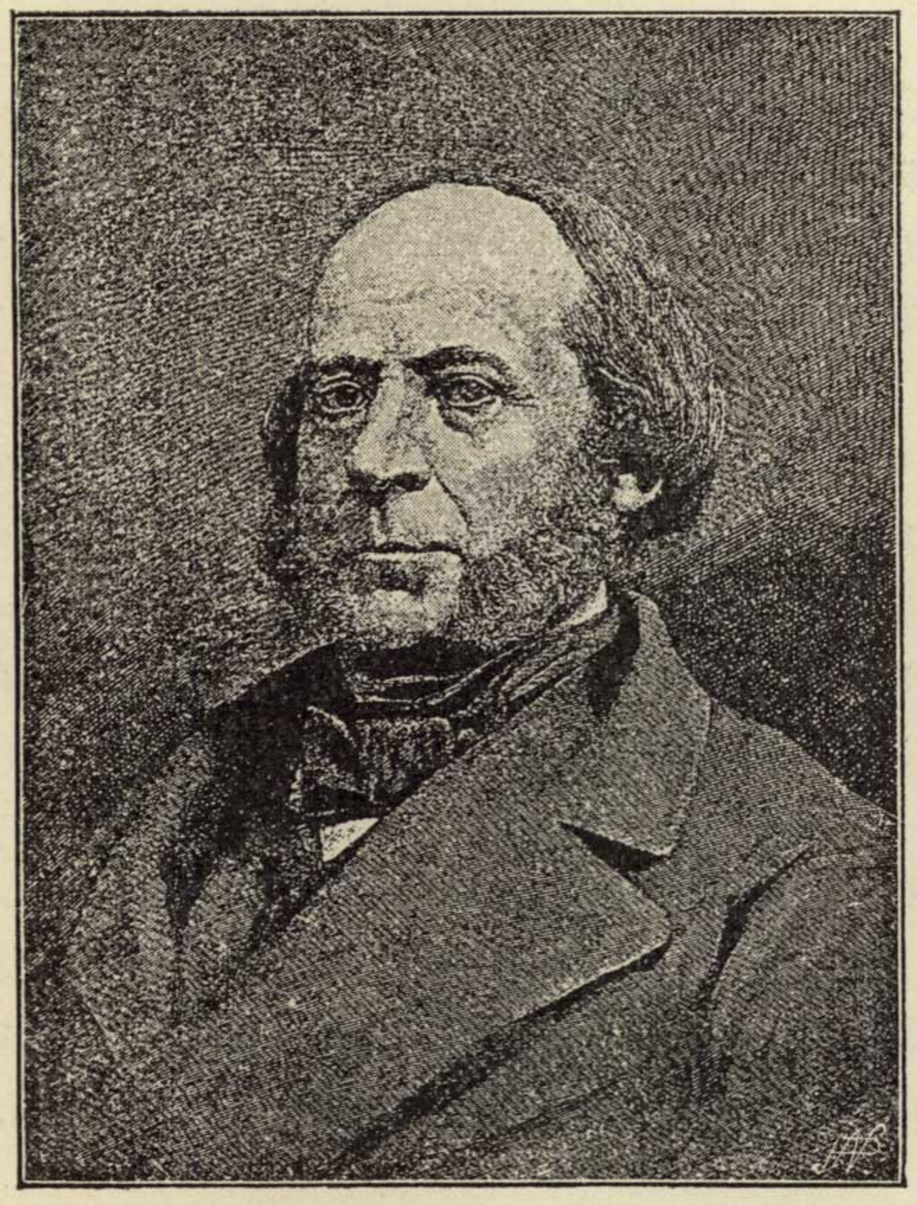
Только со времени появленія паровой машины Ватта можно было думать о винтѣ, какъ о средствѣ передвиженія судовъ. Еще въ началѣ XIX вѣка дѣлались различныя попытки замѣнить винтомъ пароходныя колеса съ лопастями, но только шведу Джону Эрикссону удалось преодолѣть практическія затрудненія, такъ что его справедливо можно назвать изобрѣтателемъ пароходнаго винта.

110. Джонъ Эрикссонъ родился въ 1803 году въ Лангбансгюттанъ (Вермландъ), гдѣ его отецъ былъ рудокопомъ. Вмѣстѣ со своимъ, старшимъ на одинъ годъ, братомъ Нильсомъ онъ получилъ образованіе въ военно-инженерномъ училищѣ, но уже въ 1826 году онъ покинулъ училище и уѣхалъ въ Англію. Здѣсь онъ скоро пріобрѣлъ извѣстность своимъ паровымъ экипажемъ (§ 117) и въ 1833 году выступилъ публично со своей такъ называемой машиной съ нагрѣтымъ воздухомъ (калорической машиной). Она основана на томъ, что, если отдѣлить извѣстное количество воздуха отъ внѣшняго, то, будучи нагрѣто, оно можетъ производить давленіе достаточное для того, чтобы двигать поршень, какъ это дѣлаетъ паръ. Эрикссонъ хотѣлъ использовать теплоту въ этой машинѣ лучше, чѣмъ это возможно въ машинѣ высокаго давленія, въ которой отработавшій паръ, содержащій въ себѣ много тепла, поглощеннаго при его образованіи, уходитъ въ воздухъ, такъ что это тепло пропадаетъ. Если движущую силу будетъ производить вмѣсто пара нагрѣтый воздухъ, то теплота, израсходованная на обращеніе воды въ паръ, сбережется. — Однако, въ отдѣленной массѣ воздуха можно получить только сравнительно незначительное давленіе

http://mathesis.ru

даже при сильномъ нагрѣваніи. Такъ, водяной паръ при 150° С обладаетъ упругостью пяти атмосферъ, воздухъ же только при 273° С производитъ давленіе въ двѣ атмосферы (ср. § 34). Такъ какъ вообще нельзя выходить за предѣлы температуры въ 200°—300°, не вредя машинѣ, то поршень машины съ нагрѣтымъ воздухомъ долженъ быть гораздо больше, чѣмъ у паровой машины. Это обстоятельство весьма затрудняло приложеніе машины съ нагрѣтымъ воздухомъ въ крупной промышленности.

Рис. 103



Джонъ Эрикссонъ.

Зато въ мелкой промышленности, гдѣ требуется лишь незначительная движущая сила, эта машина въ пятидесятыхъ годахъ нашла широкое распространеніе. Позднѣе она была вытѣснена газовыми и керосиновыми двигателями. Эрикссонъ, энергичная и изобрѣтательная натура, въ семидесятыхъ годахъ строилъ большіе планы относительно своей машины съ нагрѣтымъ воздухомъ. Машину должна была приводить въ дѣйствіе теплота солнца при посредствѣ вогнутыхъ зеркалъ; поэтому ею можно было бы пользоваться преимущественно въ тропическихъ странахъ. Но эта солнечная машина до настоящаго времени не нашла сколько-нибудь замѣтнаго примѣненія.

Бо́льшую часть своей жизни Эрикссонъ провелъ въ Америкѣ. Въ 1829 году онъ былъ побѣжденъ на конкурсѣ паровыхъ экипажей (§ 117) Стефенсономъ, а англійскіе авторитеты въ области механики дали отрицательный отзывъ о его пароходномъ винтѣ. Нѣкоторые даже пытались набросить тѣнь на это изобрѣтеніе и заявляли, что первый построенный имъ винтовой пароходъ, оказавшійся превосходнымъ судномъ, „въ основѣ невѣренъ, невѣрно выполненъ и очевидно не имѣетъ никакой цѣны, такъ что ни одинъ разумный человѣкъ не возьмется за постройку кораблей, которые должны были бы двигаться этимъ способомъ“. Въ виду этого Эрикссонъ по совѣту одного друга рѣшился (въ 1839 году) переѣхать въ Америку, гдѣ надѣялся найти лучшій пріемъ для своихъ идей. Здѣсь его винтъ сейчасъ же нашелъ признаніе и, когда первый винтовой фрегатъ „Прайнстонъ“ въ 1843 году блестяще побѣдилъ въ состязаніи превосходный колесный пароходъ „Грэтъ Вестернъ“, побѣда винта надъ колесомъ была рѣшена. Въ теченіе немногихъ лѣтъ винтъ былъ введенъ даже въ нѣсколькихъ европейскихъ военныхъ флотахъ.

111. Пароходный винтъ состоитъ не изъ полнаго оборота винтовой поверхности, а изъ двухъ—четырехъ отдѣльныхъ „перьевъ“. Форма этого винта, именно винта о двухъ перьяхъ, а равно и способъ его прикрѣпленія къ судну видны на рисункахъ 104 и 105. Винтъ имѣетъ значительныя преимущества передъ колесомъ съ лопастями. Онъ занимаетъ гораздо меньше мѣста, чѣмъ послѣднее, и всегда остается подъ водой, даже когда вѣтеръ кладетъ судно на бокъ. У колеснаго парохода при такихъ

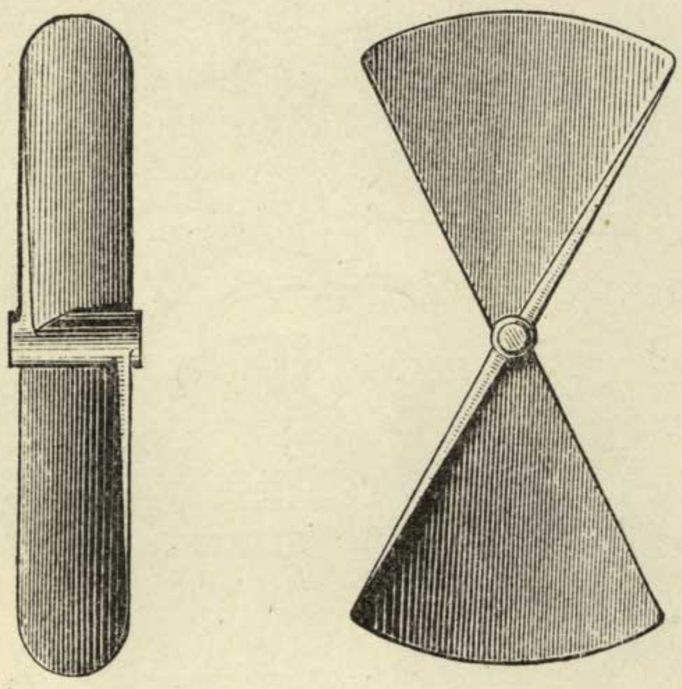
http://mathesis.ru

условіяхъ одно колесо подымается надъ водою, тогда какъ другое настолько же больше погружается въ воду. Для военныхъ судовъ винтъ очень важенъ, потому что непріятельскіе снаряды съ трудомъ могутъ вредить ему. Для коммерческихъ и пассажирскихъ судовъ винтъ имѣетъ то преимущество, что онъ не мѣшаетъ при причалѣ, какъ колесные кожухи. Благодаря отсутствію кожуховъ сопротивленіе воды движенію винтового парохода меньше, чѣмъ движенію колеснаго, и, наконецъ, форма винтового парохода не мѣшаетъ употребленію парусовъ, какъ это имѣетъ мѣсто на колесномъ пароходѣ.

Съ другой стороны, колеса съ лопастями имѣютъ передъ винтомъ то преимущество, что на спокойной водѣ они позволяютъ лучше использовать движущую силу, чѣмъ винтъ. Поэтому на озерахъ и рѣкахъ колесные пароходы находятся въ большомъ употребленіи и теперь.

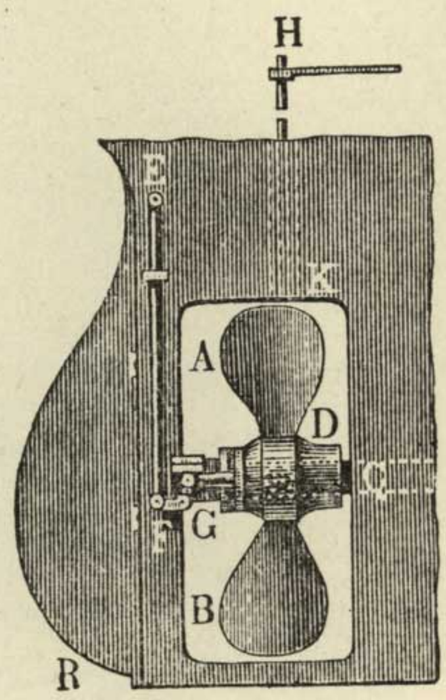
Кромѣ упомянутыхъ открытій Эрикссона, его имя извѣстно по особому роду броненосныхъ судовъ, построенныхъ имъ. Это такъ называемые мониторы—мало

Рис. 104



Пароходный винтъ.

Рис. 105



Помѣщеніе винта у ахтерштевня судна.

возвышающіяся надъ водою суда, вооруженныя однимъ или двумя тяжелыми орудіями. Первый мониторъ Эрикссона прославился тѣмъ, что въ американскую междуусобную войну онъ обезпечилъ Сѣвернымъ Штатамъ побѣду при Гамптонъ-Редѣ. Здѣсь броненосныя суда были въ бою въ первый разъ, причемъ обнаружилось, что мониторъ былъ значительно сильнѣе броненоснаго судна Южныхъ Штатовъ „Мерримака“.

Эрикссонъ умеръ въ Нью-Іоркѣ въ 1889 году. Его тѣло было перевезено въ Швецію, которая еще раньше почтила его научными отличіями, а въ 1899 году воздвигла ему памятникъ въ Гётеборгѣ.

112. Пригодные паровые экипажи вошли въ употребленіе лишь двадцатью годами позже паровыхъ судовъ. Въ проектахъ недостатка не было, но они разбивались о то обстоятельство, что машина Ватта съ конденсаторомъ и съ необходимымъ для ея работы большимъ запасомъ воды была слишкомъ тяжела для экипажа. Въ вопросѣ о движеніи парового экипажа можно было говорить только о машинѣ высокаго давленія. Первый опытъ съ такою машиной былъ сдѣланъ Кюньо (1725—1804), поставившимъ себѣ задачу примѣнить силу пара для передвиженія пушекъ. Ему удалось заинтересовать этимъ дѣломъ французскаго военнаго министра. Его первая повозка (рис. 106) была готова въ 1770 году и свою первую пробную поѣздку со-

http://mathesis.ru

вершила во дворѣ арсенала. Она сохраняется въ Парижѣ еще и понынѣ. На ней была машина простого дѣйствія съ двумя цилиндрами. Котелъ имѣлъ внутреннюю топку. На рисункѣ видно, какъ соединялся котелъ съ машиной, а машина съ передними колесами повозки. Оказалось, что машина могла прекрасно везти повозку. Ее даже разогрѣли такъ хорошо, что она двинулась слишкомъ быстро и наѣхала на ограду двора. У Кюньо не было приспособленій для управленія машиной и повозкой и это вѣроятно было причиной того, что съ этой паровой повозкой больше не дѣлалось никакихъ опытовъ.

113. Машина высокаго давленія раньше всего вошла въ употребленіе въ Сѣверной Америкѣ, гдѣ ее изобрѣлъ Оливеръ Ивансъ (1755—1819). Послѣдній

Рис. 106



Паровая повозка Кюньо.

былъ геніальный механикъ, съ именемъ котораго связано еще нѣсколько другихъ открытій. Его машина высокаго давленія оказалась хорошей, а его паровой экипажъ управлялся такъ легко, что онъ могъ рѣшиться ѣздить въ немъ по улицамъ Филадельфіи. Несмотря на это, онъ не пошелъ съ этой повозкой дальше опытовъ. Но косвеннымъ образомъ его работы все же оказались полезными для дальнѣйшаго развитія паровыхъ экипажей. Его планы были приняты двумя англійскими механиками Тревитгикомъ и Вивіаномъ, которые ввели машину высокаго давленія въ Англіи. Въ 1801 году они получили патентъ на паровой экипажъ, изображенный на рис. 107 и предназначенный для движенія по обыкновеннымъ дорогамъ. *A* представляетъ паровой котелъ, *B* топку и *C* цилиндръ. Длинный стержень поршня движется вдоль рамы *D*. Шатунъ приводитъ въ движеніе кривошипъ *E*, который вращаетъ зубчатое колесо *F*. Послѣднимъ движеніе передается зубчатому колесу *H*, насаженному на

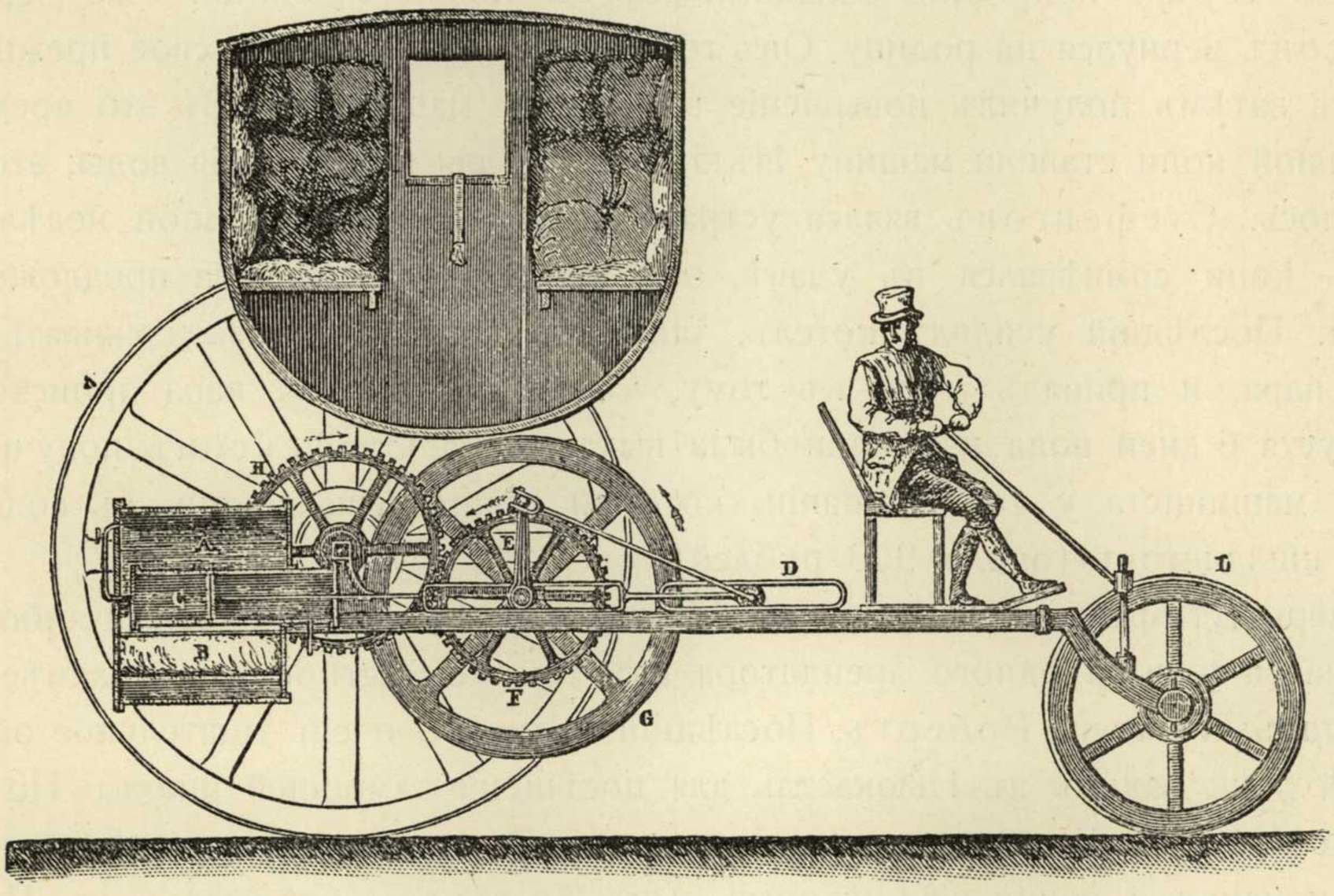
экипажную ось. Маховикъ *G* служитъ для преодолѣнія мертвыхъ точекъ. Положеніе рулевого колеса *L* опредѣляетъ направленіе, въ которомъ долженъ двигаться экипажъ.

Оказалось, однако, что этотъ экипажъ не годится для обыкновенныхъ дорогъ. Вслѣдствіе сильнаго тренія его движеніе требовало слишкомъ большой движущей силы, а вслѣдствіе постоянныхъ толчковъ машина портилась очень скоро.

Поэтому Тревитгикъ и Вивіанъ рѣшили построить экипажъ, который бы двигался по рельсамъ. Въ копяхъ давно уже пользовались рельсами для облегченія передвиженія повозокъ съ большой нагрузкой. Въ Германіи уже въ XVI вѣкѣ были дороги съ деревянными рельсами. Когда во второй половинѣ XVIII вѣка желѣзо стало значительно дешевле, деревянные рельсы были замѣнены желѣзными.

Въ 1804 году начали ставить паровые экипажи на рельсы, съ хорошимъ успѣхомъ. Дальнѣйшее развитіе желѣзныхъ дорогъ было, однако, сильно задержано невѣрными

Рис. 107



Уличный паровой экипажъ Тревитгика и Вивіана.

взглядами на треніе. Именно, думали, что треніе между рельсами и колесами слишкомъ незначительно, чтобы паровой повозкой можно было пользоваться для передвиженія большихъ тяжестей. Поэтому прибѣгали къ зубчатымъ колесамъ и зубчатымъ рельсамъ, какъ это дѣлается теперь въ горныхъ желѣзныхъ дорогахъ, или же между рельсами помѣщали канатъ, который, наматываясь на валъ, тянулъ машину. Дошли даже до того, что построили локомотивъ, подталкивавшійся сзади особой упоркой.

Наконецъ, англійскій инженеръ Блакеттъ далъ въ 1813 году опытное доказательство того, что треніе между гладкими рельсами и колесами гораздо больше, чѣмъ принималось до того времени. Этимъ было устранено существенное препятствіе къ усовершенствованію желѣзныхъ дорогъ. Однако, локомотивы были еще слишкомъ плохи, а именно, они развивали слишкомъ мало силы по сравненію со своимъ вѣсомъ.

114. Около этого времени за задачу сооруженія пригоднаго локомотива взялся Джорджъ Стефенсонъ. Стефенсонъ родился въ 1781 году въ Вайламѣ близъ

http://mathesis.ru

Ньюкастля. Его отецъ былъ рабочимъ въ сосѣдней угольной копи, гдѣ долженъ былъ присматривать за Ньюкоменовской машиной. Молодой Стефенсонъ росъ въ стѣсненныхъ, но счастливыхъ условіяхъ, такъ какъ имѣлъ хорошихъ родителей. Еще мальчикомъ онъ долженъ былъ помогать имъ зарабатывать пропитаніе и потому онъ не получилъ школьнаго образованія. Въ возрастѣ 17 лѣтъ онъ получилъ мѣсто машиниста, приносившее ему 10 шиллинговъ (около 5 рублей) въ недѣлю. Теперь онъ имѣлъ возможность учиться чтенію и письму въ одной вечерней школѣ. Нѣсколько лѣтъ спустя онъ сталъ тормазчикомъ. Въ этой должности онъ долженъ былъ присматривать за ходомъ машины при движеніи подъемныхъ корзинъ въ шахтахъ.

На 21 году жизни Стефенсонъ женился, но уже спустя четыре года, въ 1806 году, онъ потерялъ свою жену. Послѣ смерти жены Стефенсонъ передалъ своего трехлѣтняго сына въ семью одного друга и переѣхалъ въ Шотландію, чтобы здѣсь получить мѣсто надсмотрщика при машинѣ Ватта. На этомъ мѣстѣ онъ имѣлъ прекрасный случай подробно ознакомиться съ новой машиной. Уже черезъ годъ Стефенсонъ вернулся на родину. Онъ тотчасъ же поступилъ на свое прежнее мѣсто, но вскорѣ затѣмъ получилъ повышеніе въ старшіе машинисты. Въ это время въ новой угольной копи ставили машину Ньюкомена для выкачиванія воды; это, однако, не удавалось. Стефенсонъ взялся устранить воду въ теченіе одной недѣли и, хотя инженеръ копи сомнѣвался въ удачѣ, онъ все же согласился на предложеніе Стефенсона. Послѣдній усилилъ котелъ, такъ что тотъ могъ выдерживать большее давленіе пара, и принялъ мѣры къ тому, чтобы конденсація пара происходила быстро. Спустя 6 дней вода изъ копи была выкачана, а Стефенсонъ получилъ мѣсто старшаго машиниста у той компаніи, которой принадлежала копь, съ содержаніемъ въ 1800 шиллинговъ (около 900 рублей).

Теперь Стефенсонъ стремился къ знанію усерднѣе, чѣмъ когда-либо. Сначала онъ обучался у сына одного арендатора изъ той же мѣстности, а позднѣе его учителемъ сталъ его сынъ Робертъ. Послѣдній получилъ очень тщательное образованіе и каждый день ѣздилъ въ Ньюкастль для посѣщенія тамошней школы. По вечерамъ отецъ и сынъ вмѣстѣ повторяли то, что послѣдній выучилъ въ школѣ, и читали техническія и научныя сочиненія, которыя сынъ бралъ изъ библіотеки въ Ньюкастлѣ. Этимъ, нѣсколько необычнымъ, путемъ отецъ пріобрѣлъ хорошія знанія, да и сынъ извлекъ пользу изъ этой совмѣстной работы. Именно, онъ научился отъ отца понимать чертежи безъ чтенія соотвѣтствующаго текста, что позднѣе очень пригодилось ему.

115. Опыты Блакетта надъ треніемъ (§ 113) производились въ томъ самомъ мѣстечкѣ, гдѣ родился Джорджъ Стефенсонъ и гдѣ постоянно дѣлались пробы съ локомотивами. Стефенсонъ очень интересовался этими новыми „машинами для ѣзды“, слѣдилъ за опытами съ величайшимъ вниманіемъ и находилъ, что существенный недостатокъ ихъ лежалъ въ устройствѣ самой машины. Стефенсону хотѣлось построить практичную машину для ѣзды и владѣльцы копей близъ Киллингворта, у которыхъ онъ служилъ старшимъ машинистомъ, предоставили въ его распоряженіе необходимыя средства. Важнѣйшія улучшенія, внесенныя имъ въ машину, были слѣдующія.

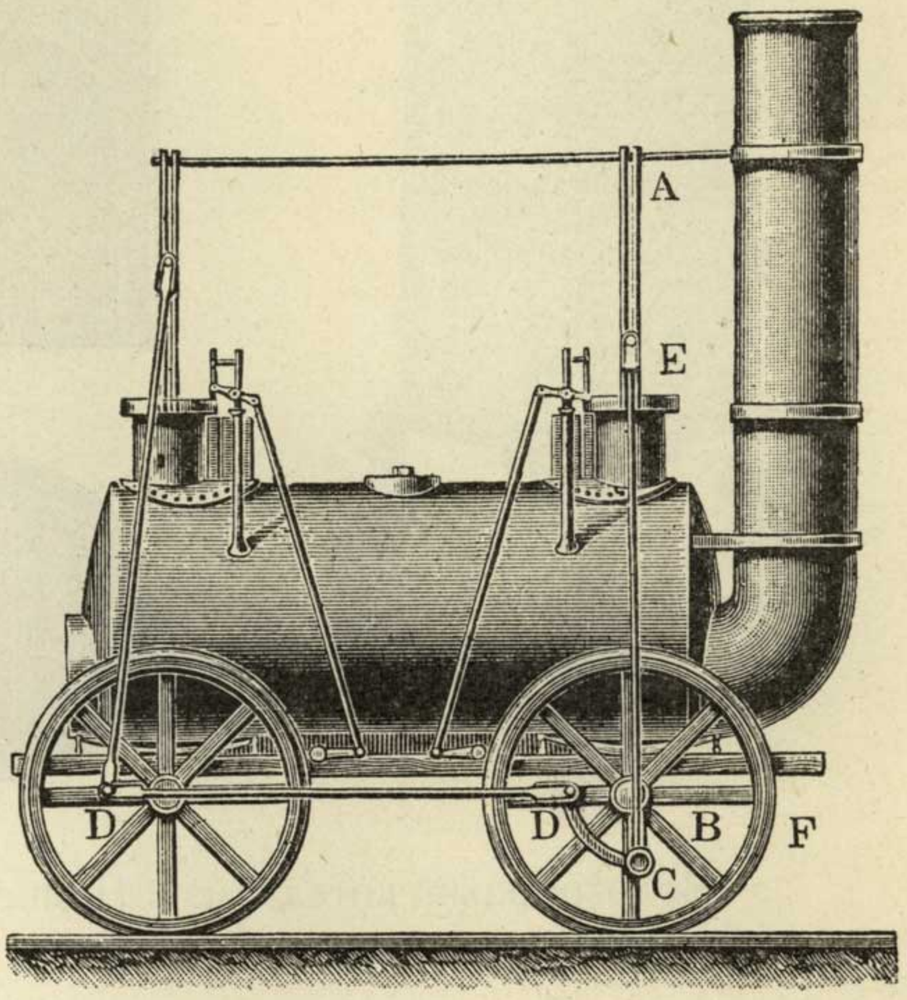
Прежде всего онъ позаботился о томъ, чтобы котелъ давалъ больше пара, что усилило бы машину. Чтобы достичь этого, онъ увеличилъ поверхность испаренія и

http://mabesis.ru

сталъ выпускать отработавшій паръ въ дымовую трубу, что значительно усиливало тягу въ топкѣ. Затѣмъ онъ постарался устранить сотрясенія и толчки, поставивъ котелъ и машину на рессоры. Наконецъ, онъ соединилъ переднее колесо локомотива съ заднимъ при помощи штанги *DD* (рис. 108), такъ что эти два колеса должны были двигаться одно вмѣстѣ съ другимъ и поэтому не такъ легко скользили на рельсахъ. Машина имѣла два цилиндра и ея поршни были поставлены такъ, что каждый изъ нихъ помогалъ другому проходить черезъ мертвыя точки.

Изображенная на рис. 108 первая машина Стефенсона стала прообразомъ всѣхъ позднѣйшихъ локомотивовъ. Въ ближайшее затѣмъ время различныя машины этого рода были построены отчасти для копей въ Киллингвортѣ, отчасти же для другихъ рельсовыхъ дорогъ. Въ 1825 году была открыта дорога между Стоктономъ и Дарлингтономъ. Здѣсь локомотивъ впервые былъ примѣненъ для болѣе значительныхъ разстояній и (съ 1828 года) для правильнаго пассажирскаго движенія.

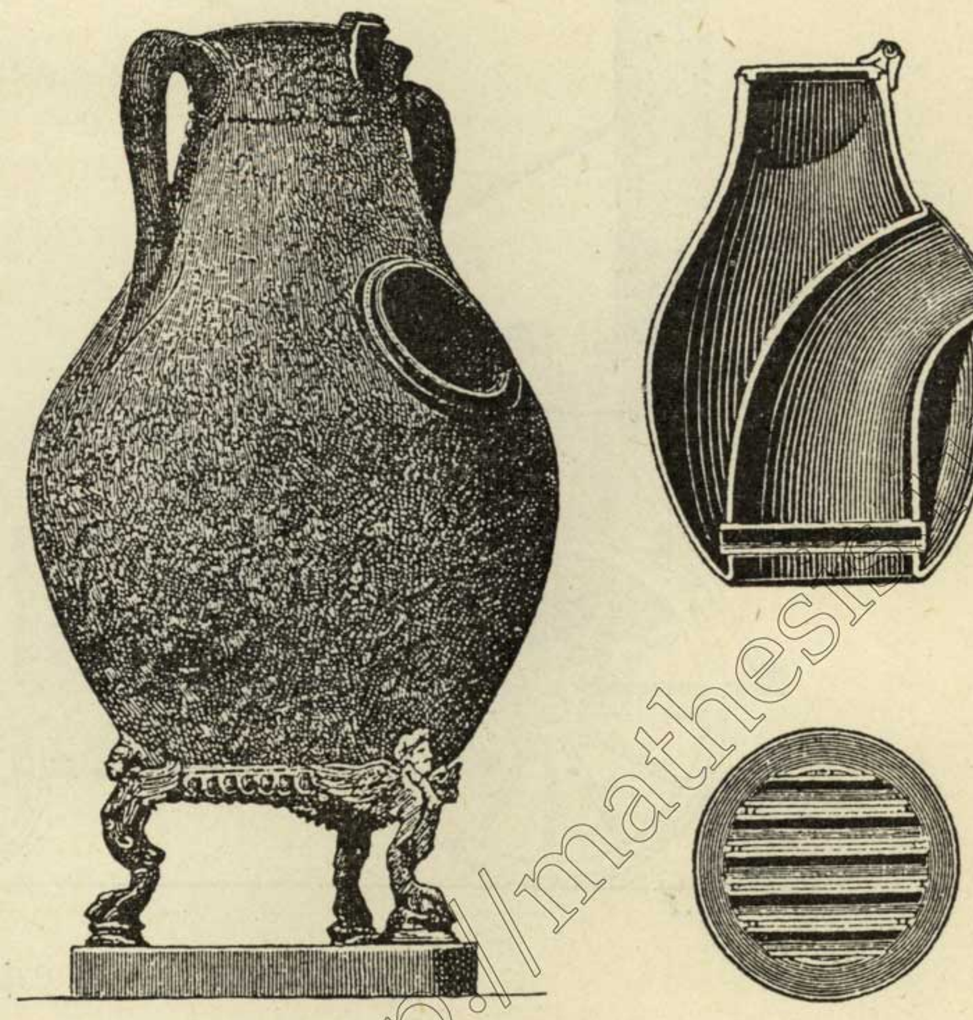
Рис. 108



Первый локомотивъ Стефенсона.

116. Одинъ изъ локомотивовъ Стефенсона попалъ въ 1828 году во Францію, гдѣ его работоспособность и скорость были испытаны ставшимъ позднѣе столь знаменитымъ инженеромъ Маркомъ Сегеномъ (1786—1875). Оказалось, что локомотивъ проходилъ всего три четверти мили въ часъ, и Сегенъ понялъ, что котелъ долженъ давать гораздо больше пара и что, слѣдовательно, поверхность испаренія должна быть значительно увеличена. Поэтому онъ проложилъ въ котлѣ нѣсколько узкихъ трубокъ, чрезъ которыя горячіе газы пламени должны были проходить по пути въ дымовую трубу, имѣя возможность, такимъ образомъ, отдавать водѣ въ котлѣ гораздо болѣе значительное количество тепла. Сегенъ производилъ свои опыты съ котломъ на паровой лодкѣ. Стефенсонъ тотчасъ же подхватилъ его идею и устроилъ на локомотивѣ трубчатый котелъ, съ которымъ онъ и принялъ участіе въ 1829 году въ знаменитомъ состязаніи локомотивовъ на дорогѣ между Ливерпулемъ и Манчестеромъ.

Рис. 109

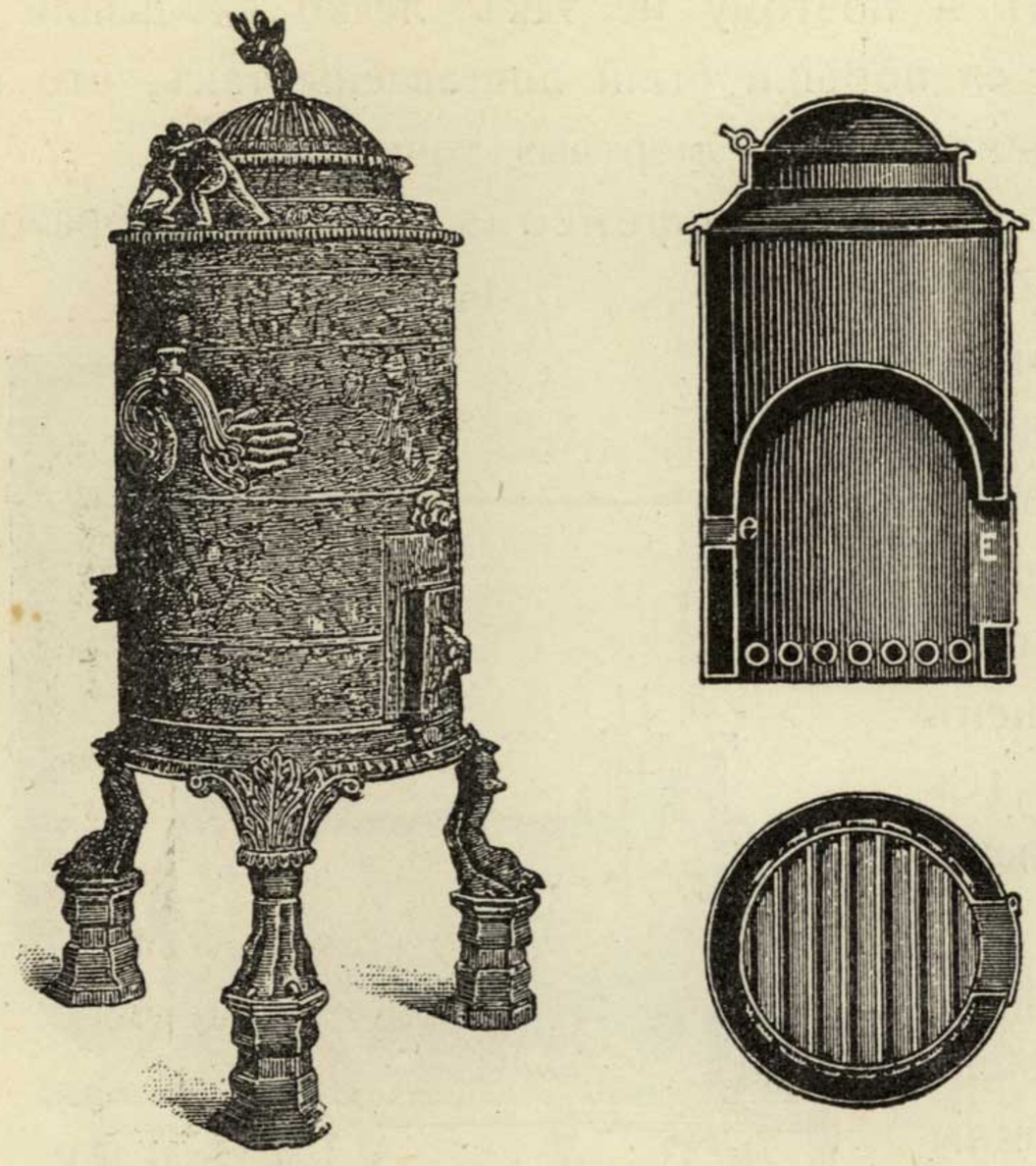


Водотрубный котелъ изъ Помпей.

Приложеніе трубокъ въ водяныхъ котлахъ для лучшаго использованія тепла было извѣстно, впрочемъ, уже и въ древности. На рис. 109 изображенъ найденный въ Помпеяхъ котелъ, имѣющій сходство

съ русскимъ самоваромъ. Нижняя болѣе широкая часть котла имѣла каналъ для огня, который наполнялся раскаленными угольями. Сквозь укрѣпленную у дна котла рѣшетку выбрасывалась зола и вступалъ воздухъ. Рѣшетка древняго котла имѣла извѣстныя преимущества передъ рѣшеткой самовара, именно въ томъ, что она состояла не изъ массивныхъ стержней, а изъ трубокъ и потому была гораздо прочнѣе, такъ какъ эти трубки наполнялись водою. Въ силу этого одновременно достигалась и экономія въ топливѣ, такъ какъ тепло, отданное рѣшеткѣ, переходило въ воду.

Рис. 110

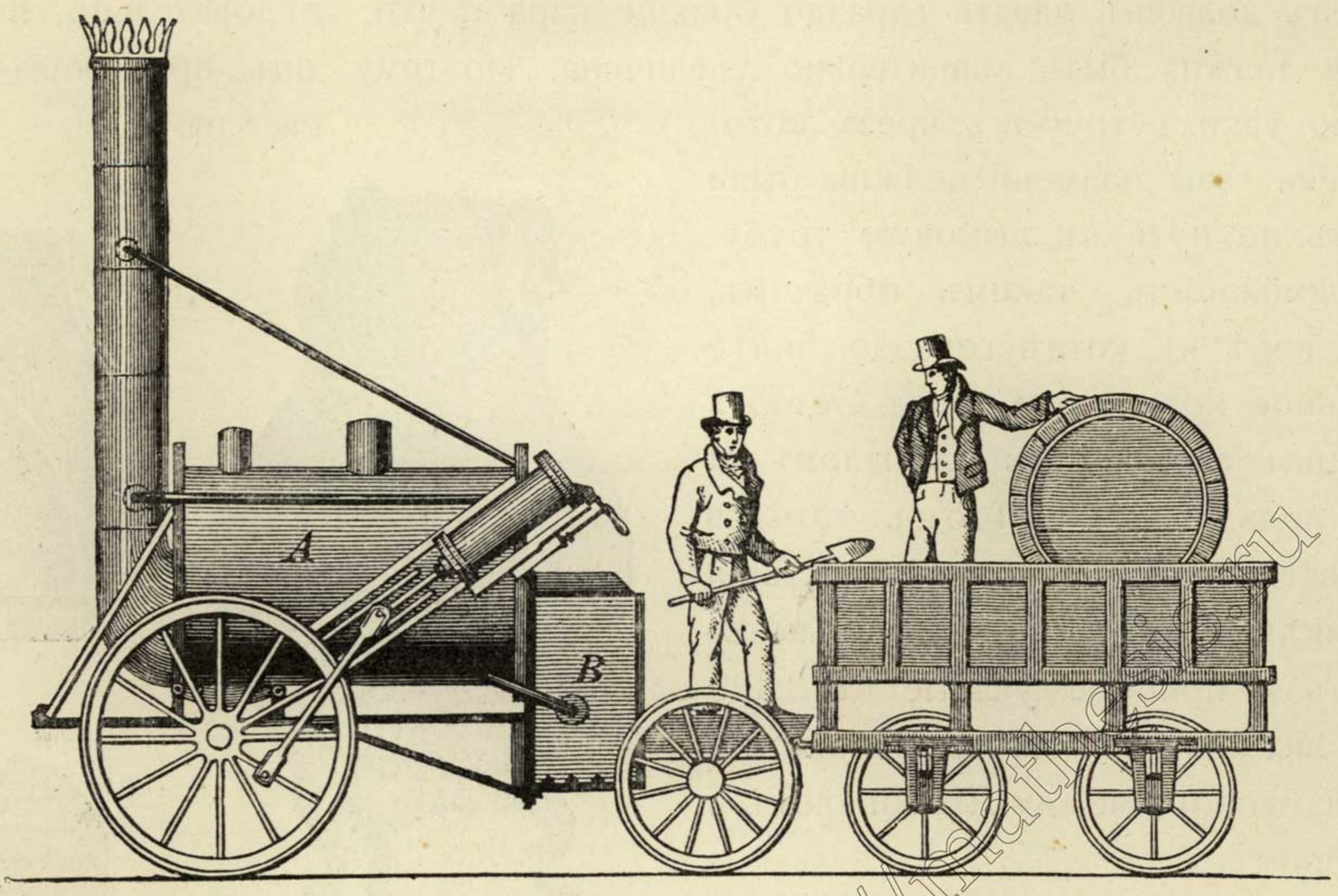


Водотрубный котелъ изъ Помпей.

Другой Помпейскій котелъ, въ которомъ система трубокъ видна яснѣе, изображенъ на рис. 110. Въ немъ топочное пространство имѣетъ форму купола и вмѣстѣ съ рѣшеткой представляетъ большую поверхность для нагрѣванія воды. Сквозь *E* входитъ свѣжій воздухъ, а сквозь *e* продукты горѣнія удаляются въ дымовую трубу.

117. Стефенсонъ самъ руководилъ постройкой рельсоваго пути между названными выше городами, но собственники дороги никакъ не могли придти къ согласному рѣшенію, пользоваться ли локо-

Рис. 111



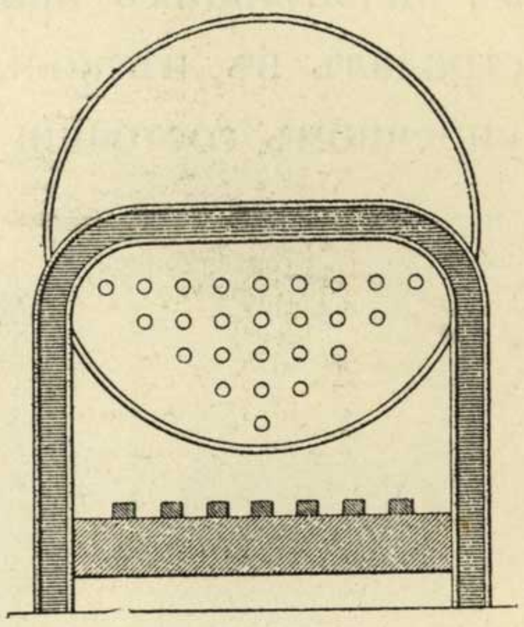
Локомотивъ Стефенсона „Rockett“.

мотивомъ, какъ движущей силой. Только когда дорога была почти окончена, Стефенсонъ получилъ разрѣшеніе сдѣлать опытъ съ перевозкой нагруженныхъ вагоне-

http://rutracker.ru

токъ при помощи локомотива. Это оказалось чрезвычайно выгоднымъ и потому управленіе дороги рѣшилось предложить премію въ 500 фунтовъ стерлинговъ (около 5000 рублей) за лучшій локомотивъ, удовлетворяющій извѣстнымъ требованіямъ. Конкурсъ былъ назначенъ на 6 октября 1829 года и кромѣ Стефенсонова локомотива „The Rockett“ (Ракета) въ немъ приняли участіе еще нѣсколько другихъ, въ томъ числѣ „Novelty“ (Новость) Джона Эрикссона.

Рис. 112



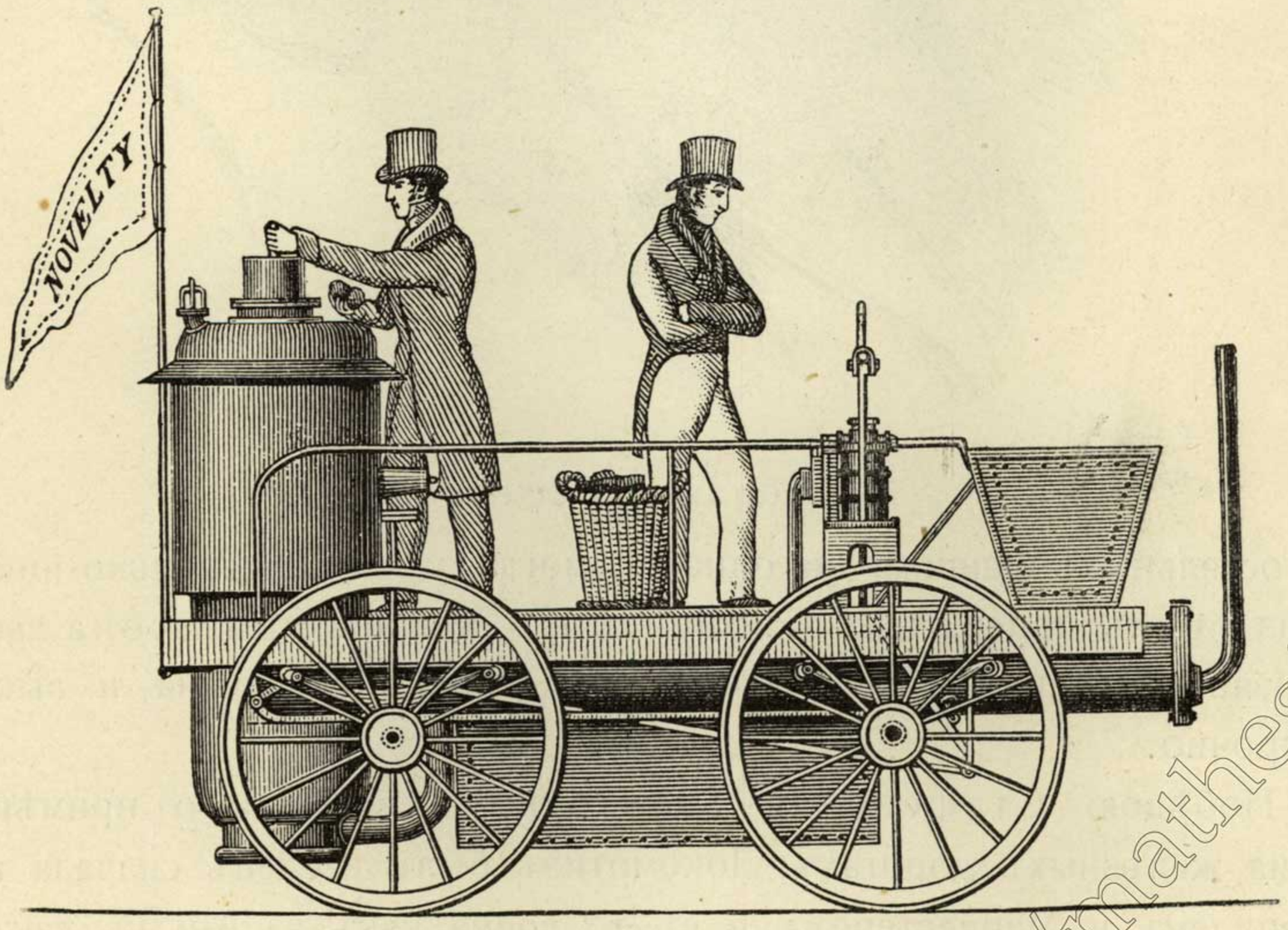
Котелъ „Rockett“.

Котелъ „Rockett“ раздѣлялся на собственно котелъ *A* (рис. 111) и на желѣзный ящикъ *B* съ двойными стѣнками, въ которомъ помѣщалась топка. Промежутокъ между двойными стѣнками сообщался съ котломъ *A*, такъ что вода изъ послѣдняго переходила въ желѣзный ящикъ и здѣсь окружала огонь со всѣхъ сторонъ. Получающіеся при горѣніи газы уходили по 25 трубкамъ, лежавшимъ въ главномъ котлѣ (рис. 112), въ дымовую трубу, въ которой отработавшій паръ производилъ сильную тягу.

Эта машина имѣла два цилиндра, по одному съ каждой стороны котла. Стержни поршней и шатуны дѣйствовали на два кривошипа, расположенные подъ прямымъ угломъ другъ къ другу. Съ локомотивомъ былъ связанъ особый вагонъ, тендеръ, на которомъ возились вода и уголь. Вода доставлялась котлу безпрерывно нагнетательнымъ насосомъ; за топкой могъ присматривать одинъ человѣкъ.

„Rockett“ вѣсила 8500 фунтовъ и имѣла нѣсколько неуклюжій видъ, но была сработана очень тщательно во всѣхъ отношеніяхъ.

Рис. 113



Локомотивъ Эрикссона „Novelty“.

Машина Эрикссона „Novelty“ (Новость) была построена гораздо элегантнѣе, вѣсила вдвое меньше „Rockett“ и не имѣла тендера (рис. 113). И въ этой машинѣ

http://mathesis.ru

тяга въ трубѣ производилась искусственно, но не при помощи отработавшаго пара, а при помощи мѣховъ, приводившихся въ движеніе машиной.

При первой пробной поѣздкѣ „Rockett“ достигла скорости трехъ миль въ часъ, тогда какъ „Novelty“ дала вдвое большую скорость, такъ что, повидимому, побѣда была одержана ею. Но на слѣдующій день машина Эрикссона не могла принять участія въ дальнѣйшихъ пробныхъ поѣздкахъ, такъ какъ ея мѣха испортились, а котелъ пострадалъ въ нѣсколькихъ мѣстахъ. Напротивъ того, „Rockett“ находилась въ безупречномъ состояніи и при дальнѣйшихъ пробахъ достигла скорости 7·5 миль въ часъ.

Рис. 114



Джорджъ Стефенсонъ.

Изъ остальныхъ машинъ ни одна не могла мѣряться сколько-нибудь съ „Rockett“ и призъ былъ присужденъ Стефенсону. Машина Эрикссона заслужила одобреніе за изящество постройки, но она была слишкомъ сложна и выполнена недостаточно прочно.

118. Побѣдою Стефенсона былъ рѣшенъ вопросъ о примѣненіи пара къ движенію на желѣзныхъ дорогахъ. Локомотивъ былъ введенъ сначала на дорогѣ между Ливерпулемъ и Манчестеромъ и въ то время какъ въ Англіи, такъ и на континентѣ были задуманы обширныя желѣзнодорожныя постройки. Дорога изъ Ливерпуля въ Манчестеръ была открыта для движенія въ 1830 году. Первой желѣзной дорогой въ Германіи (открытой въ 1835 году) былъ путь въ 6 *км* отъ Нюренберга до Фирта.

Въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ поверхность представляла препятствія для прокладыванія

http://mathesis.ru

желѣзныхъ дорогъ, инженерамъ приходилось рѣшать множество трудныхъ задачъ. И въ этой области Стефенсонъ прокладывалъ новые пути. Онъ прорывалъ туннели, велъ рельсовые пути черезъ болота и строилъ мосты. При этихъ работахъ, впрочемъ, руководящей силой былъ Робертъ Стефенсонъ. Онъ получилъ хорошее образованіе, посѣщалъ университетъ въ Эдинбургѣ и три года работалъ въ Южной Америкѣ въ качествѣ инженера. Съ 1827 года онъ работалъ вмѣстѣ со своимъ отцомъ и принималъ участіе въ постройкѣ дороги изъ Ливерпуля въ Манчестеръ. Робертъ Стефенсонъ создалъ себѣ имя главнымъ образомъ, какъ строитель мостовъ. Извѣстнѣйшими изъ мостовъ его постройки являются желѣзнодорожный мостъ черезъ рѣку Тайнъ у Ньюкастля, мостъ „Britannia“, соединяющій островъ Энглези съ англійскимъ берегомъ, и мостъ Викторіи, длиною почти въ полмили, перекинутый надъ рѣкою Св. Лаврентія на высотѣ 20 *м*.

Джорджа Стефенсона приглашали въ качествѣ совѣтника при постройкѣ первыхъ желѣзныхъ дорогъ почти во всѣхъ европейскихъ государствахъ. Благодаря его авторитетнымъ указаніямъ, желѣзныя дороги строились прочно и потому быстро входили въ употребленіе.

Конечно, Стефенсонъ сталъ богатымъ человѣкомъ. Въ 1831 году онъ купилъ имѣніе Снибстонъ, гдѣ управлялъ работой въ угольныхъ копяхъ. Здѣсь онъ стремился создать для своихъ рабочихъ возможно благопріятныя жизненныя условія. Онъ заботился о томъ, чтобы они имѣли хорошія и уютныя жилища, и строилъ церкви и школы, чтобы дѣти рабочихъ могли получать образованіе, котораго самъ онъ въ дѣтствѣ былъ лишенъ. Онъ умеръ въ 1848 году.

Природа теплоты

119. Что такое теплота? Вопросъ этотъ задавали себѣ еще древніе философы и естествоиспытатели. Относительно природы теплоты было два существенно различныхъ взгляда: одни представляли себѣ теплоту, какъ вещество, которое переходитъ отъ одного тѣла къ другому; другіе разсматривали ее, какъ нѣкоторый родъ движенія.

Нетрудно найти подтвержденія для каждаго изъ этихъ взглядовъ въ явленіяхъ повседневной жизни. Представленіе о теплотѣ, какъ о веществѣ, очень хорошо согласуется съ тѣми представленіями, которыя мы обычно связываемъ съ понятіями о нагрѣваніи и охлажденіи тѣлъ.

Согласно первому взгляду, тѣло нагрѣвается или охлаждается, когда оно получаетъ или отдаетъ тепловое вещество (теплородъ). И такъ какъ мы нерѣдко видимъ, что нагрѣваніе одного тѣла влечетъ за собою охлажденіе другого, то естественно представить себѣ теплоту, какъ нѣкоторое вещество, которое переходитъ отъ одного тѣла къ другому.

Но съ другой стороны, еще въ самой глубокой древности знали, что два тѣла нагрѣваются, если тереть ихъ одно о другое (§ 1). Здѣсь не можетъ быть рѣчи о переходѣ теплоты отъ одного тѣла къ другому, такъ какъ тѣла нагрѣваются и въ томъ случаѣ, если до тренія они оба были холодными. Отсюда было естественно заключить, что существуетъ связь между движеніемъ (посредствомъ котораго производится треніе) и теплотой (развиваемой треніемъ). Къ этому выводу, дѣйствительно,

http://mathesis.ru

и пришли древніе греческіе философы. Тѣмъ не менѣе, теорія теплорода имѣла приверженцевъ еще и въ XIX столѣтіи.

Геронъ (ср. I, § 209) объяснялъ процессъ нагрѣванія тѣлъ предположеніемъ, что въ нагрѣваемое тѣло проникаютъ матеріальныя частички. Впослѣдствіи это воззрѣніе было расширено допущеніемъ, что холодъ также представляетъ особое вещество. Гассенди (1508—1588) усматривалъ подтвержденіе этого взгляда въ томъ фактѣ, что при смѣшеніи воды съ селитрой развивается холодъ, подобно тому какъ при смѣшеніи другихъ веществъ (напримѣръ, воды съ сѣрной кислотой) образуется теплота. Представленіе о теплотѣ, какъ о веществѣ, удерживалось все время господства философіи Аристотеля, такъ какъ его четыре элемента: огонь, земля, вода и воздухъ тоже считались веществами.

Но въ XVI и XVII вѣкахъ, съ возрожденіемъ свободнаго научнаго изслѣдованія стали раздаваться голоса противъ воззрѣнія на теплоту, какъ на вещество. Такъ, напримѣръ, Фрэнсисъ Бэконъ (I, § 167) говоритъ, что при нагрѣваніи не можетъ происходить передача вещества, потому что тѣло, отдающее теплоту, нисколько не теряетъ въ своемъ вѣсѣ; а такъ какъ всѣ тѣла могутъ быть нагрѣты посредствомъ тренія, то этимъ исключается возможность существованія особаго теплового вещества. Согласно взгляду Бэкона теплота „есть расширительное движеніе, совершаемое мельчайшими частичками тѣла“.

120. Послѣ Бэкона многіе физики старались путемъ взвѣшиванія рѣшить вопросъ, представляетъ ли собою теплота вещество въ обычномъ смыслѣ слова? Такъ, въ концѣ XVIII вѣка, когда приложеніе вѣсовъ открыло химіи новые пути, дѣлались попытки рѣшить при помощи вѣсовъ и вопросъ о природѣ теплоты. Но опыты въ этомъ направленіи не привели къ опредѣленнымъ выводамъ. Нѣкоторые наблюдатели находили даже, что нагрѣтое тѣло вѣситъ меньше, чѣмъ холодное, что, впрочемъ, нетрудно объяснить. Въ самомъ дѣлѣ, когда нагрѣтое тѣло кладутъ на чашку вѣсовъ, окружающій воздухъ нагрѣвается и благодаря этому надъ чашкой вѣсовъ образуется восходящее воздушное теченіе; кромѣ того, нагрѣтое тѣло вытѣсняетъ большій объемъ воздуха и потому, дѣйствительно, вѣситъ (въ воздухѣ) нѣсколько меньше, чѣмъ въ холодномъ состояніи.

Въ 1799 году графъ Румфордъ произвелъ весьма точное взвѣшиваніе этого рода. Онъ налилъ въ три одинаковыя бутылки равныя по вѣсу количества воды, спирта и ртути. Обмотавъ горлышки бутылокъ серебряной проволокой, онъ достигъ совершеннаго равенства вѣсовъ. Затѣмъ онъ помѣстилъ бутылки въ комнату съ температурой ниже 0^0 и, когда бутылки приняли температуру комнаты, снова взвѣсилъ ихъ. Оказалось, что бутылки съ ихъ содержимымъ въ точности сохранили свой прежній вѣсъ несмотря на то, что вода обратилась въ ледъ и, слѣдовательно, отдала свою скрытую теплоту таянія. Отсюда Румфордъ вывелъ заключеніе, что взвѣшиваніемъ нельзя доказать существованія особаго теплового вещества. Тѣмъ же опытомъ опровергалась и весьма удивительная теорія, согласно которой теплородъ имѣетъ отрицательный вѣсъ. Этотъ „отрицательный вѣсъ“ объясняли тѣмъ, что теплородъ отталкивается землей и находится поэтому подъ вліяніемъ силы, направленной вертикально снизу вверхъ. Вслѣдствіе этого тѣло при нагрѣваніи должно было бы терять часть своего вѣса.

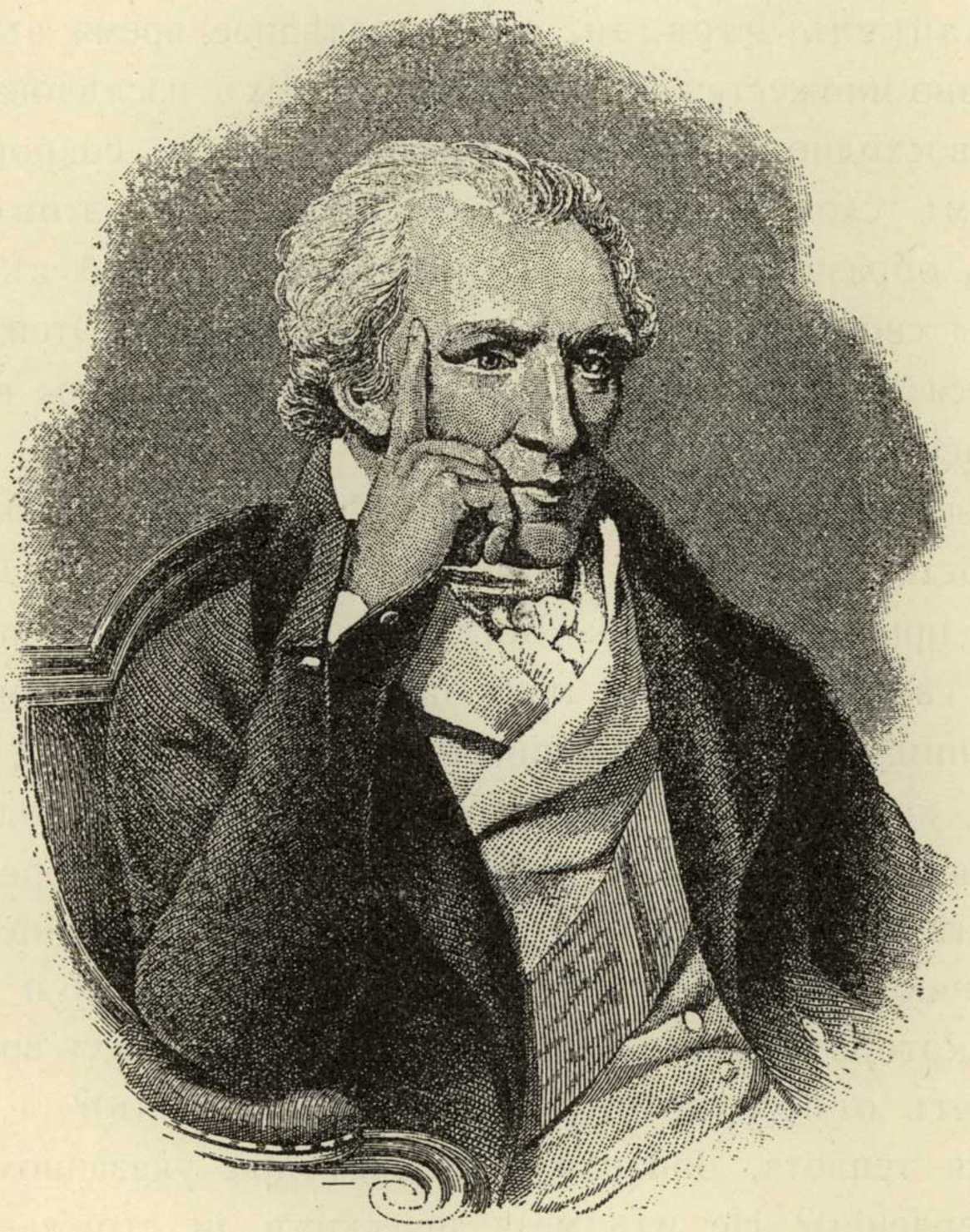
121. Вопросъ о природѣ теплоты занималъ графа Румфорда уже и раньше;

http://rnales.ru

его наблюденія не согласовались съ представленіемъ о существованіи теплорода. Первое наблюденіе его относится къ 1778 году, но лишь двадцать лѣтъ спустя, т. е. въ 1798 году, онъ произвелъ опытъ, который имѣлъ рѣшающее значеніе.

Первоначальное имя графа Румфорда было Бенджаминъ Томпсонъ. Онъ родился въ 1753 году въ Вобёрнѣ (Woburn), въ штатѣ Массачузетсъ. Онъ рано лишился отца и его мать вторично вышла замужъ. Одно духовное лицо приняло въ немъ участіе и дало ему хорошее образованіе, особенно по математикѣ. Еще молодымъ юношей онъ сдѣлался сельскимъ учителемъ, а 19 лѣтъ онъ женился на дочери священника изъ Румфорда. Когда вспыхнула американская война за освобожденіе, Томпсонъ примкнулъ къ королевской партіи и вступилъ въ армію. Въ 1774 году онъ вынужденъ былъ бѣжать въ Бостонъ, который тогда былъ занятъ англійскими войсками. Два года спустя англичане были изгнаны и Томпсонъ былъ посланъ съ важнымъ порученіемъ въ Англію. Во время своего пребыванія въ Лондонѣ онъ началъ свои физическія изслѣдованія и въ 1778 году сталъ членомъ Royal Society.

Рис. 115



Графъ Румфордъ.

Затѣмъ онъ вторично принялъ участіе въ американской войнѣ и въ 1783 году послѣ заключенія мира онъ вернулся въ Лондонъ, гдѣ получилъ назначеніе по военному министерству. Занимая это положеніе, Томпсонъ оказывалъ сильное вліяніе на различныя стороны военнаго дѣла. Въ 1784 году онъ покинулъ Англію, чтобы поступить на службу къ курфюрсту баварскому. Здѣсь онъ проявилъ чрезвычайно разностороннюю дѣятельность. Онъ занимался научными изслѣдованіями и сдѣлался членомъ различныхъ ученыхъ обществъ. Въ качествѣ военнаго министра онъ реформиро-

http://mathesis.ru

валъ баварскую армію, за что былъ награжденъ различными отличіями, а въ 1790 году получилъ титулъ графа Румфорда. Наконецъ, онъ занимался и рѣшеніемъ различныхъ вопросовъ общественной жизни. Онъ основывалъ техническія школы и организовывалъ рабочіе дома, чѣмъ искоренилъ въ Мюнхенѣ нищенство. Онъ старался различными способами придти на помощь бѣдному люду: строилъ печи, требовавшія небольшого количества топлива, вводилъ паровое отопленіе, указывалъ, какъ изготовлять дешевую и прочную одежду, а также дешевыя и питательныя пищевыя вещества (Румфордовъ супъ). Между прочимъ, онъ обратилъ вниманіе и на разведеніе картофеля. Ему же Мюнхенъ обязанъ своимъ англійскимъ садомъ, который онъ устроилъ, имѣя въ виду менѣе состоятельную часть населенія.

Съ 1799 года Румфордъ вновь поселился въ Лондонѣ. Въ этомъ году онъ принялъ близкое участіе въ учрежденіи Royal Institution; это учрежденіе ставило себѣ задачей „распространять науку, способствовать введенію полезныхъ механическихъ изобрѣтеній и улучшеній и путемъ естественнонаучныхъ лекцій и опытовъ давать указанія, какъ примѣнять науку для потребностей обыденной жизни“. Впослѣдствіи во главѣ Royal Institution стояло нѣсколько знаменитѣйшихъ физиковъ, какъ Гёмфри Дэви и Майкель Фарадэй, а въ послѣднее время въ лабораторіи этого института было сдѣлано множество чрезвычайно важныхъ изслѣдованій. Равнымъ образомъ, институтъ превосходно справился съ задачей сдѣлать сокровища естествознанія доступными широкимъ слоямъ образованныхъ людей. Въ этомъ отношеніи Royal Institution послужилъ образцомъ для аналогичныхъ учрежденій въ другихъ странахъ.

Послѣдніе годы своей жизни Румфордъ прожилъ въ Отейлѣ (Auteuil) вблизи Парижа. Онъ женился на вдовѣ Лавуазье, но спустя короткое время разошелся съ нею. Румфордъ умеръ въ 1814 году.

122. Физическія изслѣдованія Румфорда посвящены главнымъ образомъ теплотѣ. Онъ самъ обстоятельно разсказываетъ о томъ, что побудило его взяться за опыты относительно природы теплоты. „Когда я присутствовалъ недавно въ Мюнхенскомъ арсеналѣ при сверленіи пушки, меня поразила высокая температура, которую металлъ быстро принималъ при сверленіи, и еще болѣе высокая температура металлическихъ стружекъ, которая превышала температуру кипѣнія воды.

Чѣмъ больше я размышлялъ объ этомъ явленіи, тѣмъ интереснѣе и замѣчательнѣе казалось оно мнѣ. Я надѣялся, что тщательное изслѣдованіе этого явленія позволитъ глубже проникнуть въ неизвѣстную природу теплоты и дастъ возможность рѣшить вопросъ, о которомъ расходятся мнѣнія ученыхъ всѣхъ временъ: существуетъ ли или не существуетъ огнеподобный флуидъ (жидкость)?

Откуда берется теплота, обнаруживающаяся при указанномъ выше механическомъ процессѣ (сверленіи)? Не изъ металлическихъ ли стружекъ, которыя сверло отрѣзываетъ отъ сплошной массы металла?

Если это такъ, то, принимая во вниманіе новое ученіе о скрытой теплотѣ и теплоёмкости, мы должны предположить, что теплоёмкость той части металла, которая превратилась въ стружки, измѣнилась и притомъ въ такой степени, что этому измѣненію можно приписать всю развивающуюся теплоту“. Дѣйствительно, если теплоёмкость уменьшилась, то при томъ же количествѣ теплоты температура стружекъ должна повыситься.

Опредѣливъ теплоёмкость металлическихъ стружекъ, Румфордъ нашелъ, что

http://mathesis.ru

величина ея такова же, какъ и у самого металла. Итакъ, появленіе теплоты нельзя было приписать измѣненію теплоёмкости. Румфордъ доказалъ это еще и слѣдующимъ образомъ: онъ замѣнилъ острый буравъ тупымъ и давилъ имъ на металлъ съ силою приблизительно въ 10000 фунтовъ, такъ что металлъ теперь оказывалъ вращенію такое же сопротивленіе, какъ и при сверленіи острымъ буравомъ; на этотъ разъ сверло давало лишь ничтожное количество металлическаго порошка и тѣмъ не менѣе металлъ нагрѣлся весьма сильно.

Тогда Румфордъ пожелалъ удостовѣриться, что теплота получается не изъ окружающаго воздуха. Металлическій цилиндръ, который нужно было просверлить, онъ помѣстилъ въ деревянный ящикъ, наполненный водой, пустилъ въ ходъ буравъ и нашелъ, что и въ водѣ теплота развивается не хуже, чѣмъ въ воздухѣ. Послѣ $2^1/_2$ часовъ сверленія вода (въ количествѣ 19 фунтовъ) закипѣла. „Трудно“, пишетъ Румфордъ, „описать недоумѣніе и удивленіе, отразившіяся на лицахъ присутствующихъ, когда они увидѣли, что столь большое количество воды было доведено до кипѣнія безъ помощи огня“.

„Дѣлая выводы изъ этихъ опытовъ, мы не должны упускать изъ виду, что источникъ теплоты, образующейся при треніи, очевидно, неисчерпаемъ. Врядъ ли нужно прибавлять, что нельзя считать веществомъ то, что можно получить въ неограниченномъ количествѣ изъ изолированнаго тѣла, т. е. не находящагося въ связи съ другими тѣлами, и трудно или даже невозможно представить себѣ теплоту иначе, какъ нѣкоторое движеніе.—Я отнюдь не хочу утверждать, будто мнѣ извѣстно, какимъ образомъ возникаетъ и поддерживается и какъ распространяется это своеобразное движеніе; я не желаю высказывать необоснованныхъ предположеній, тѣмъ болѣе, что этотъ вопросъ напрасно старались выяснить величайшіе ученые уже цѣлыя тысячелѣтія. Но еслибы даже механическая природа теплоты и относилась къ числу тѣхъ тайнъ природы, пониманіе которыхъ недоступно человѣческому уму, то все же это обстоятельство не должно насъ смущать и не должно препятствовать намъ продолжать наши изслѣдованія о законахъ дѣйствія теплоты. Какъ далеко сможемъ мы подвинуться впередъ по путямъ, открытымъ для насъ наукой, прежде чѣмъ насъ окутаютъ густые туманы, заволакивающіе горизонтъ человѣческаго разума со всѣхъ сторонъ? Но какъ богата и интересна и та область, которая намъ доступна!“

Румфордъ вычислилъ количество теплоты, развиваемой въ описанныхъ опытахъ, и такъ какъ онъ зналъ, что лошадь могла приводить въ движеніе его буравъ, то онъ имѣлъ возможность сравнить полученное количество теплоты съ рабочей силой лошади. Въ результатѣ своего вычисленія онъ нашелъ, что теплота, получаемая такимъ образомъ, обходится слишкомъ дорого и что можно получить большее количество теплоты, сжигая кормъ лошади, такъ что получать теплоту помощью тренія было бы невыгодно.

123. Статья Румфорда объ этомъ предметѣ была напечатана въ 1798 году въ изданіяхъ Royal Society. Годъ спустя молодой химикъ въ Бристолѣ обнародовалъ нѣсколько чрезвычайно остроумныхъ опытовъ по тому же самому вопросу. Этотъ молодой человѣкъ былъ Гёмфри Дэви. Онъ родился въ 1778 году въ Пензансѣ (Penzance, въ Корнуоллѣ) въ семьѣ бѣднаго рѣзчика по дереву. Получивъ скудное первоначальное образованіе, онъ поступилъ въ ученіе къ одному хирургу. Тутъ онъ имѣлъ возможность познакомиться съ сочиненіями научнаго характера. Особенно при-

http://mathesis.ru

влекали его сочиненія по химіи. Ревностнымъ трудомъ онъ пріобрѣлъ солидныя знанія и въ 1798 году двадцатилѣтній молодой человѣкъ получилъ сравнительно хорошую должность въ одной химической лабораторіи въ Бристолѣ; здѣсь работа его состояла въ приготовленіи различныхъ газовъ, которые были незадолго передъ тѣмъ открыты и которые нужно было изслѣдовать со стороны ихъ значенія для медицины. Въ 1799 году онъ напечаталъ свой первый трудъ „О теплотѣ и свѣтѣ“, въ которомъ описывалъ свои опыты для выясненія природы теплоты. Благодаря своимъ геніальнымъ химическимъ изслѣдованіямъ онъ пріобрѣлъ себѣ громкое имя и уже въ 1801 году былъ назначенъ профессоромъ въ Royal Institution (§ 121). Здѣсь онъ извелъ цѣлый рядъ въ высшей степени важныхъ экспериментальныхъ изслѣдованій, съ частью которыхъ мы познакомимся въ дальнѣйшемъ.

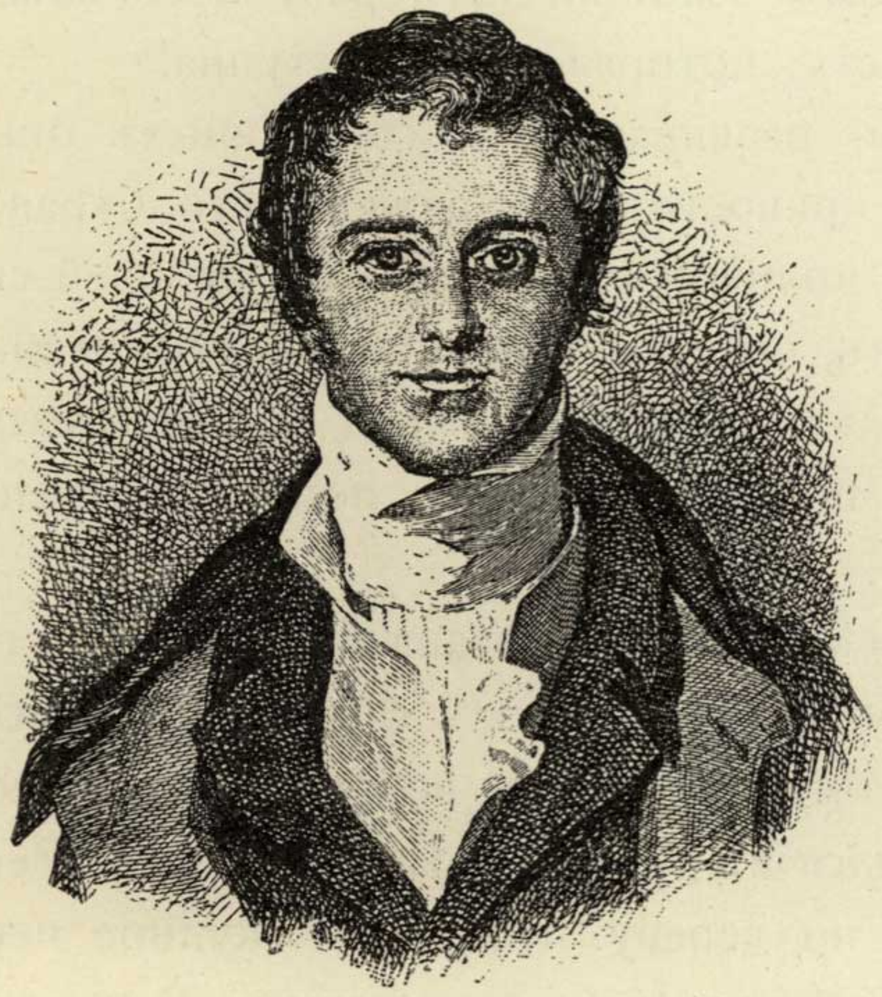
Въ 1803 году Дэви сдѣлался членомъ Royal Society, а въ 1820 году—его президентомъ. Въ 1812 году онъ женился на очень богатой женщинѣ, въ слѣдующемъ году оставилъ свою должность въ Royal Institution и предпринялъ длинное путешествіе по Франціи и Италіи. Въ этомъ путешествіи его сопровождалъ ассистентъ Майкель Фарадэй, его знаменитѣйшій преемникъ въ Royal Institution.

Послѣдніе годы своей жизни Дэви провелъ главнымъ образомъ въ различныхъ путешествіяхъ, которыя онъ предпринималъ для поправленія своего надорваннаго здоровья. Во время одного такого путешествія въ 1828 году онъ заболѣлъ въ Римѣ, а въ началѣ 1829 года по пути на родину онъ умеръ въ Женевѣ.

124. Въ одномъ изъ своихъ опытовъ надъ теплотой Дэви заставлялъ ледъ таять, натирая однимъ кускомъ льда другой. При этомъ онъ замѣтилъ, что образующаяся вода имѣетъ болѣе высокую температуру, чѣмъ окружающій воздухъ, и такъ какъ теплоёмкость воды приблизительно въ два раза превышаетъ теплоёмкость льда (ср. § 54), то, конечно, нельзя было приписать возникновеніе теплоты измѣненію теплоёмкости.

Въ то же время Дэви показалъ, что теплота, образующаяся при треніи, не заимствуется изъ окружающей среды. Онъ поставилъ подъ колоколъ воздушнаго насоса часовой механизмъ, который вращалъ дискъ, соприкасавшійся съ металлической пластинкой. Выкачавъ изъ-подъ колокола воздухъ, онъ окружилъ его водой, которая имѣла температуру тающаго льда. Благодаря тренію, дискъ и металлическая пластинка нагрѣвались и слой воска, которымъ была покрыта пластинка, таялъ. Въ этомъ опытѣ теплота, очевидно, не могла проникнуть черезъ холодную, какъ ледъ, воду и черезъ пустое пространство подъ колоколомъ. Дэви считалъ эти опыты неопровержимымъ доказательствомъ того, что теплота есть не вещество, а нѣкоторый родъ движенія.

Рис. 116



Гёмфри Дэви.

Хотя опыты Румфорда и Дэви получили широкую извѣстность, тѣмъ не менѣе болѣе удобная въ нѣкоторыхъ отношеніяхъ

http://mathesis.ru

теорія, что теплота есть нѣчто вещественное, нѣсколько времени сохраняла еще свое господство.

Въ ближайшій затѣмъ періодъ изслѣдователи произвели цѣлый рядъ изслѣдованій по вопросу о переходѣ теплоты отъ одного тѣла къ другому, а также отъ однѣхъ частичекъ тѣла къ другимъ. Эти изслѣдованія пролили новый свѣтъ на вопросъ о природѣ теплоты.

Лучистая теплота

Нѣтъ надобности прибѣгать къ научному изслѣдованію, чтобы убѣдиться, что во всѣхъ тѣлахъ теплота стремится распредѣлиться равномѣрно. Если помѣстить рядомъ теплыя и холодныя тѣла, то первыя отдаютъ теплоту, а послѣднія пріобрѣтаютъ ее; и при извѣстныхъ условіяхъ теплота передается черезъ пространство съ громадной скоростью. Когда солнце проглядываетъ изъ-за тучи, закрывавшей его, то мы сейчасъ же ощущаемъ солнечную теплоту, какъ бы высоко надъ землею ни находилась туча. Скорость распространенія теплоты такова же, какъ и скорость свѣта; подобно лучамъ свѣта, ея лучи распространяются въ пространствѣ и ихъ, подобно свѣтовымъ, можно собирать помощью вогнутыхъ зеркалъ (зажигательныя зеркала) и помощью чечевицъ (зажигательныя стёкла). Это было извѣстно еще въ древности (ср. I, § 89 и 94). Делла Порта упоминаетъ объ этомъ въ своихъ сочиненіяхъ, замѣчая при томъ, что при помощи зеркала можно отражать и „холодъ“. Онъ не разсматриваетъ этого вопроса подробнѣе; зато Accademia del Cimento произвела интересный опытъ съ „излученіемъ холода“.

Академики помѣщали ледяную глыбу вѣсомъ въ 500 фунтовъ на значительномъ разстояніи отъ вогнутаго зеркала, въ фокусѣ котораго находился одинъ изъ ихъ термометровъ. Послѣдній тотчасъ же показывалъ значительное охлажденіе. Тогда они стали изслѣдовать, не обусловливается ли паденіе термометра непосредственнымъ воздѣйствіемъ ледяной глыбы, для чего помѣщали между термометромъ и зеркаломъ экранъ. При этомъ термометръ тотчасъ же принималъ температуру окружающаго воздуха. Итакъ, въ этомъ опытѣ охлажденіе не было вызвано непосредственнымъ дѣйствіемъ льда. Шарикъ термометра охлаждался лишь въ томъ случаѣ, когда на немъ концентрировались „лучи холода“, собранные вогнутымъ зеркаломъ.

Подобнымъ же образомъ флорентійскіе академики изучали и излученіе теплоты нагрѣтыми тѣлами.

126. Терминъ „лучистая теплота“ сравнительно недавняго происхожденія. Его ввелъ шведскій химикъ Карлъ Вильгельмъ Шееле, который употребилъ его въ своемъ сочиненіи „О свѣтѣ и огнѣ“, появившемся въ 1778 году. Шееле проводилъ рѣзкое различіе между теплотой, которая подымается надъ огнемъ вмѣстѣ съ воздухомъ, и той теплотой, которую огонь излучаетъ по всѣмъ направленіямъ; послѣднюю можно ощутить, повернувшись лицомъ къ огню. Шееле и замѣтилъ, что „лучистая теплота“ обусловливается не нагрѣваніемъ воздуха, такъ какъ дѣйствіе лучистой теплоты не уменьшается и въ томъ случаѣ, когда между лицомъ и огнемъ проходитъ токъ холоднаго воздуха.

Затѣмъ Шееле сталъ изслѣдовать вопросъ, не приносится ли „лучистая теплота“ свѣтомъ, который испускается огнемъ. Съ этой цѣлью онъ собралъ тепловые лучи помощью вогнутаго зеркала и затѣмъ помѣстилъ кусокъ прозрачнаго стекла

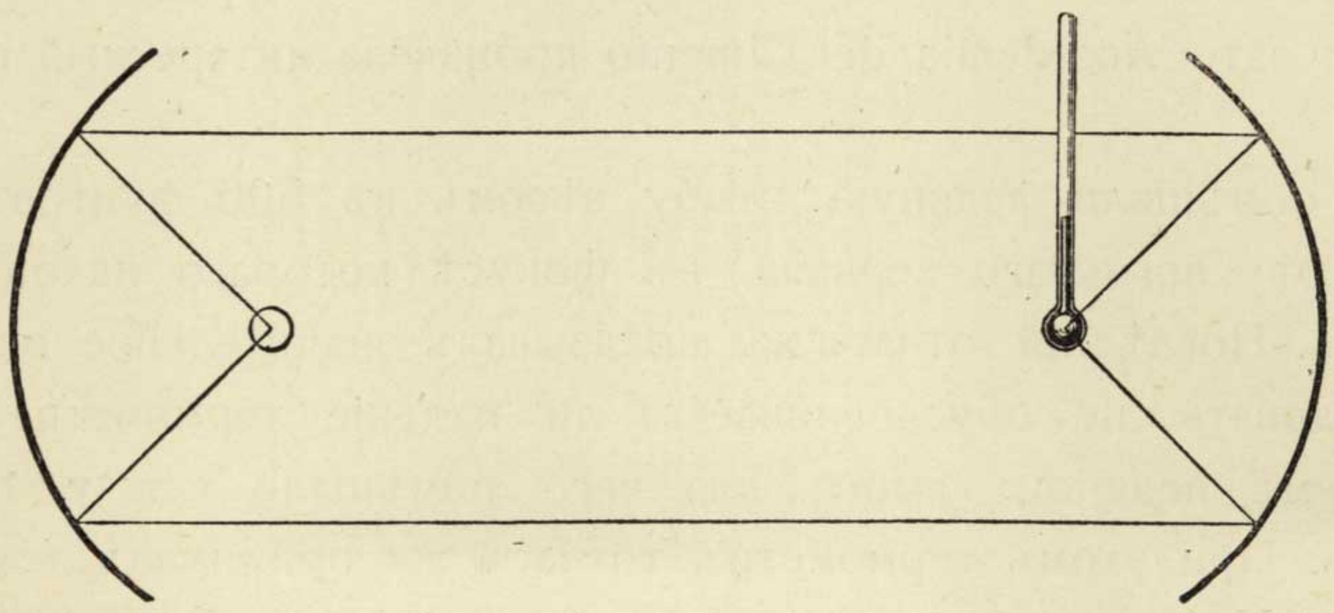
http://mathesis.ru

между огнемъ и зеркаломъ. Оказалось, что свѣтовые лучи, испускаемые огнемъ, были попрежнему собраны зеркаломъ, но въ точкѣ соединенія лучей почти нельзя было обнаружить слѣдовъ теплоты. Шееле заключилъ отсюда, что „лучистую теплоту“ стекло поглотило, а свѣтовые лучи пропустило, такъ что свѣтовые лучи нельзя считать носителями „лучистой теплоты“.

Приблизительно за сто лѣтъ до того (1682) Маріоттъ (I, § 260) указывалъ на то же самое различіе между свѣтовыми и тепловыми лучами или, вѣрнѣе, между теплотой солнечныхъ лучей и теплотой, идущей отъ обыкновеннаго огня. Онъ нашелъ, что солнечная теплота почти совершенно не ослабляется при прохожденіи чрезъ стекло, такъ что ее можно собирать при помощи стеклянной чечевицы, тогда какъ теплота отъ огня камина не можетъ пройти сквозь тонкую стеклянную пластинку.

127. Въ 1779 году, т. е. годъ спустя послѣ появленія въ свѣтъ сочиненія Шееле „О свѣтѣ и огнѣ“, было напечатано посмертное произведеніе Іоганна Генриха Ламберта (род. 1728 въ Мюльгаузенѣ, въ Эльзасѣ, ум. 1777 въ Берлинѣ) объ огнѣ и теплотѣ (Пирометрія). Ламбертъ занимался преимущественно свѣтовыми измѣреніями; онъ также пришелъ къ тому выводу, что распространеніе и отраженіе „лучей огня“ подчиняется тѣмъ же законамъ, какимъ подчиняются свѣтовые лучи. Онъ подчеркиваетъ то обстоятельство, что „темная теплота“, которую излучаетъ же-

Рис. 117



Опытъ Ламберта съ двумя вогнутыми зеркалами.

лѣзный шаръ, наполненный горячей водой, отражается отъ вогнутаго зеркала согласно законамъ отраженія свѣта. Для своихъ опытовъ онъ пользовался двумя вогнутыми (металлическими) зеркалами, которыя устанавливалъ одно противъ другого такъ, что ихъ оси лежали на одной прямой (рис. 117).

Такимъ же образомъ были расположены вогнутыя зеркала (изъ олова) и въ опытахъ надъ лучеиспусканіемъ теплоты, которые произвелъ женевскій профессоръ М. А. Пикте (1752—1825). Его зеркала имѣли одинъ футъ въ діаметрѣ и помѣщались на разстояніи 12 футовъ другъ отъ друга. Когда въ фокусѣ одного зеркала помѣстили нагрѣтый, но не раскаленный шаръ, то въ термометрѣ, шарикъ котораго находился въ фокусѣ второго зеркала, ртуть поднялась на 13^0 C, тогда какъ другой термометръ, находившійся на такомъ же разстояніи отъ тѣла, но не въ фокусѣ зеркала, не обнаружилъ замѣтнаго нагрѣванія.

При замѣнѣ теплаго шара холоднымъ тѣломъ, напримѣръ, снѣгомъ или охладительной смѣсью, термометръ мгновенно падалъ ниже температуры окружающаго воздуха. Пикте сначала былъ сильно пораженъ этимъ явленіемъ, но вскорѣ нашелъ

http://mathesis.ru

ему объясненіе: онъ понялъ, что теперь термометръ игралъ рэль теплаго тѣла, которое отдавало свою теплоту снѣгу или охладительной смѣси въ фокусѣ второго зеркала. Такимъ образомъ, понятіе „лучей холода“ устранялось. Понятно, что это же объясненіе примѣнимо и къ опыту флорентійскихъ академиковъ со льдомъ (§ 125).

128. Другой женевскій профессоръ, Пьеръ Прево (1751—1839), также пытался объяснить опытъ Пикте съ зеркалами. Въ 1791 году онъ напечаталъ статью „О равновѣсіи теплоты“, а впослѣдствіи (1809) выпустилъ въ свѣтъ болѣе подробный трудъ по тому же вопросу.

Согласно взгляду Прево теплота (лучистая) состоитъ изъ чрезвычайно малыхъ частичекъ, которыя перемѣщаются съ огромной скоростью. Каждую точку поверхности нагрѣтаго тѣла онъ разсматривалъ, какъ центръ, который по всѣмъ направленіямъ излучаетъ частицы теплоты и къ которому такія же частицы притекаютъ со всѣхъ сторонъ.

Все пространство по всѣмъ направленіямъ пронизано лучами, состоящими изъ этихъ тепловыхъ частицъ, и двѣ точки пространства находятся въ тепловомъ равновѣсіи, если за одинъ и тотъ же промежутокъ времени онѣ посылаютъ другъ другу одинаковое число тепловыхъ частицъ. Если температура тѣла остается неизмѣнной, то это обусловливается тѣмъ, что тѣло отдаетъ окружающей средѣ столько же тепловыхъ частицъ, сколько въ свою очередь получаетъ отъ нея. „Такое тѣло можно сравнить съ озеромъ, въ которомъ отъ дождя прибываетъ столько же воды, сколько ея убываетъ благодаря одновременно происходящему испаренію“.

129. Изъ изложеннаго воззрѣнія Прево вытекаютъ различныя слѣдствія. Тепловое лучеиспусканіе тѣлъ для него является процессомъ взаимодѣйствія тѣлъ. Не только теплое тѣло посылаетъ лучи холодному, но каждое тѣло излучаетъ теплоту въ окружающее пространство и величина лучеиспусканія зависитъ отъ температуры тѣла и отъ свойствъ окружающей среды. Когда различныя тѣла имѣютъ одинаковую температуру, то ихъ излученіе другъ къ другу находится въ состояніи уравновѣшеннаго излученія, т. е. температура ихъ продолжаетъ оставаться неизмѣнной. Въ этомъ случаѣ каждое тѣло отъ излученія получаетъ столько же тепловыхъ частицъ, сколько и отдаетъ.

Благодаря лучеиспусканію тѣло отдаетъ частицы теплоты, благодаря своей поглощательной способности (абсорпціи) оно въ свою очередь получаетъ тепловыя частицы. Поэтому, въ случаѣ равновѣсія лучеиспусканіе должно быть такъ же велико, какъ и поглощеніе.

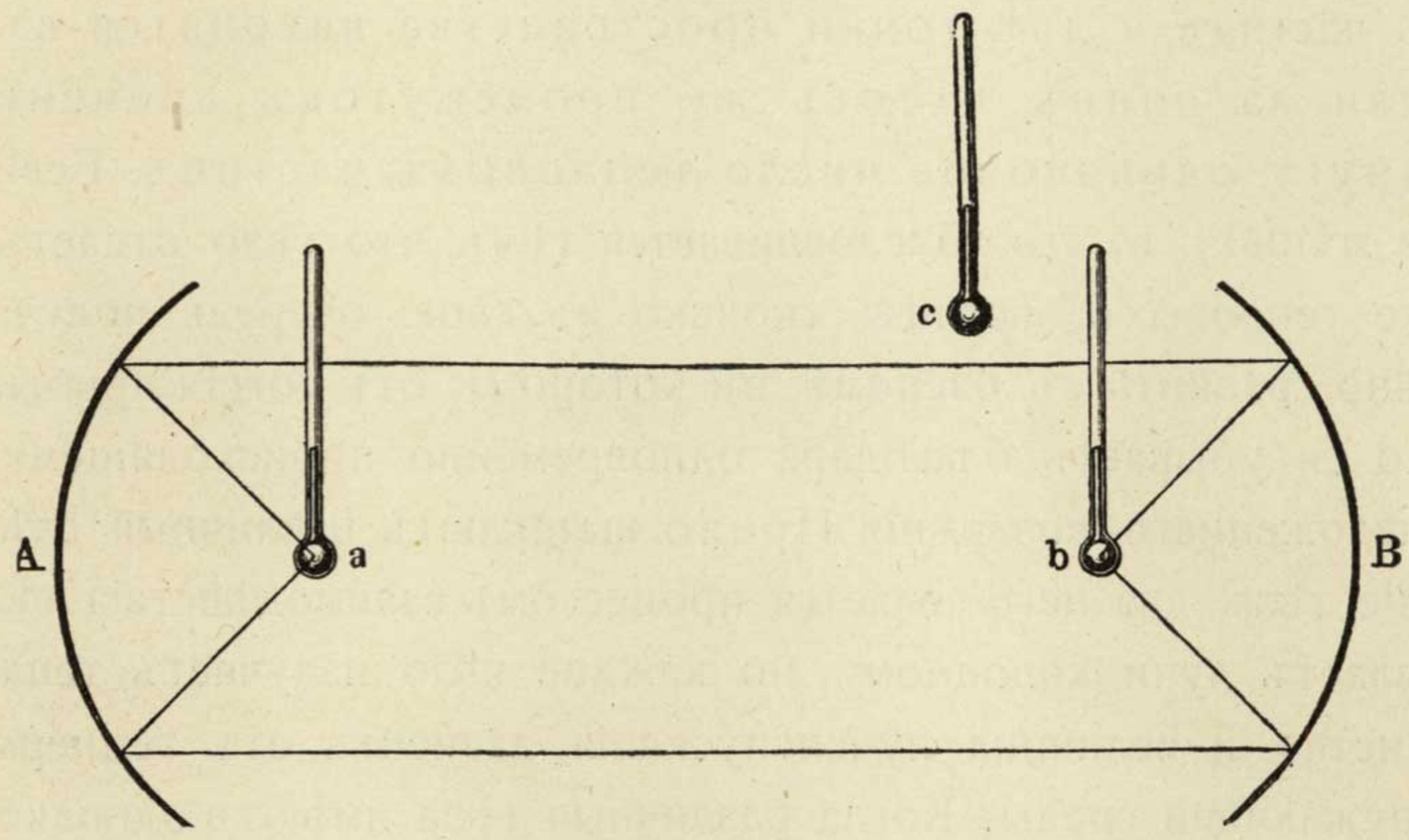
Прежде чѣмъ перейти къ выводамъ, которые можно извлечь изъ понятія объ уравновѣшенномъ излученіи, мы должны познакомиться съ изслѣдованіями, произведенными въ началѣ XIX столѣтія по вопросу объ испусканіи и поглощеніи тепловыхъ лучей. Но предварительно мы воспользуемся понятіемъ о равновѣсіи излученія для объясненія опыта съ зеркалами Пикте (ср. § 127). Если въ фокусахъ обоихъ зеркалъ находятся тѣла одинаковой температуры, то между ними имѣетъ мѣсто равновѣсіе излученія, такъ какъ оба тѣла посылаютъ другъ другу одинаковое количество теплоты. Если же, напротивъ, одно изъ этихъ тѣлъ становится теплѣе другого, то оно начинаетъ испускать больше теплоты, тогда какъ другое тѣло продолжаетъ испускать прежнее количество теплоты. Поэтому болѣе теплое тѣло отдаетъ больше теплоты, чѣмъ получаетъ, т. е. оно теряетъ теплоту, тогда какъ менѣе теплое тѣло, получающее больше теплоты, чѣмъ само испускаетъ, нагрѣвается.

http://mathesis.ru

A и *B* (рис. 118) представляютъ два вогнутыхъ зеркала; въ ихъ фокусахъ *a* и *b* помѣщены два термометра, имѣющіе такую же температуру, какъ и термометръ *c*, находящійся на одномъ и томъ же разстояніи отъ обоихъ термометровъ *a* и *b*. Такимъ образомъ, всѣ три термометра находятся въ состояніи уравновѣшеннаго излученія. Мы замѣняемъ теперь термометръ *a* какимъ-нибудь очень холоднымъ тѣломъ. Въ термометрѣ *b* ртуть мгновенно падаетъ, тогда какъ термометръ *c* не обнаруживаетъ охлажденія. Какъ объяснить это явленіе, не прибѣгая къ представленію о „лучахъ холода“, собираемыхъ зеркаломъ *B* на шарикѣ термометра *b*?

Прево объяснялъ это явленіе слѣдующимъ образомъ. Все время, пока три термометра находятся въ состояніи уравновѣшеннаго излученія, они всѣ испускаютъ одинаковое количество теплоты, но при этомъ термометръ *a* обмѣнивается съ термометромъ *b* значительно большимъ количествомъ теплоты, чѣмъ съ термометромъ *c*: на термометрѣ *b* помимо лучей, которые онъ получаетъ непосредственно отъ

Рис. 118



Объясненіе опыта Пикте.

термометра *a*, сосредоточивается еще конусъ лучей, отражаемыхъ дѣйствіемъ зеркалъ отъ *a* и *b*. Если же на мѣсто термометра *a* помѣстить холодное тѣло, то конусъ лучей отъ него уменьшается, термометръ *b* получаетъ теперь значительно меньше теплоты, а такъ какъ испускаетъ онъ столько же тепла, сколько и раньше, то температура его должна упасть. На термометръ же *c* холодное тѣло *a* оказываетъ лишь ничтожное вліяніе, такъ какъ, получая отъ *a* лишь непосредственные лучи, онъ въ то же время сохраняетъ прежній обмѣнъ тепла съ остальною окружающей средою, которая не измѣнила своей температуры.

130. Первыя основательныя изслѣдованія о лучеиспусканіи теплоты были сдѣланы Джономъ Лесли и графомъ Румфордомъ.

Сынъ бѣднаго столяра, Джонъ Лесли родился въ 1766 году въ Ларго, въ Шотландіи. Даровитый мальчикъ обратилъ на себя вниманіе приходскаго священника, который позаботился дать ему нѣкоторое образованіе; позже ему оказалъ поддержку графъ Киннуйль. 18 лѣтъ отъ роду Лесли поступилъ въ Эдинбургскій университетъ; здѣсь онъ отдался изученію теологіи, языкознанія и исторіи, такъ какъ согласно желанію своего покровителя онъ готовился быть священникомъ. Но кромѣ того онъ ревностно занимался математикой и физикой и такимъ образомъ получилъ всестороннее образованіе. Съ 1788 до 1800 года онъ совершилъ рядъ путешествій по

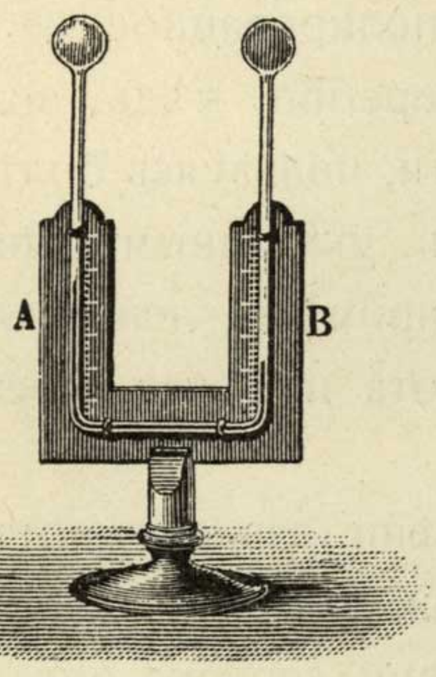
http://mathesis.ru

Америкѣ, гдѣ провелъ два года, и по различнымъ европейскимъ странамъ. Свои изслѣдованія о тепловомъ лучеиспусканіи онъ началъ еще въ девятидесятыхъ годахъ, но первый его трудъ, посвященный этому вопросу, появился въ свѣтъ лишь въ 1804 году. Въ слѣдующемъ году онъ сдѣлался профессоромъ математики, а въ 1819 году профессоромъ физики въ Эдинбургскомъ университетѣ. Онъ всю жизнь оставался холостымъ и каникулы проводилъ обыкновенно въ путешествіяхъ. Лишь послѣдніе годы жизни онъ провелъ въ собственномъ помѣстьѣ вблизи мѣста своего рожденія. Здѣсь онъ и умеръ въ 1832 году.

131. Лесли былъ чрезвычайно искусный экспериментаторъ. Для изученія теплового лучеиспусканія онъ устроилъ два прибора: такъ называемый кубъ Лесли и дифференціальный термометръ. Тепловое излученіе тѣла опредѣляется его температурой и формой, размѣрами и свойствами его поверхности, а также свойствами окружающей среды, которую должны пронизывать лучи.

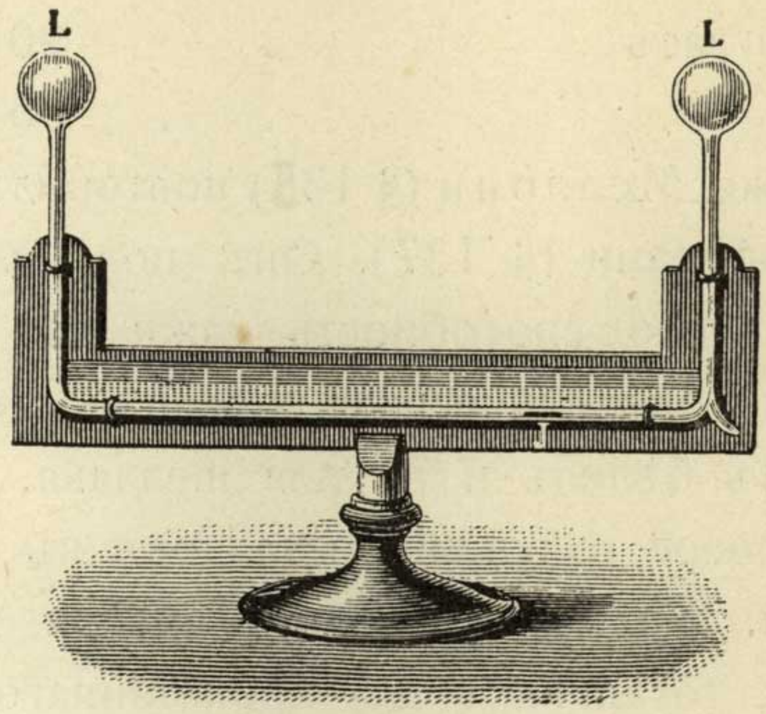
Съ помощью своего куба Лесли могъ изслѣдовать, какъ велико тепловое излученіе различнаго рода поверхностей одной и той же температуры, величины и формы.

Рис. 119



Дифференціальный термометръ Лесли.

Рис. 120



Дифференціальный термометръ Румфорда.

Боковыя грани его полаго латуннаго куба покрывались, тѣмъ или инымъ способомъ, тѣми веществами, тепловое излученіе которыхъ подлежало изслѣдованію. Наполнивъ свой кубъ горячей водой, Лесли ставилъ его передъ вогнутымъ зеркаломъ, которое собирало испускаемые кубомъ лучи на одномъ изъ двухъ шариковъ дифференціальнаго термометра.

Дифференціальный термометръ (рис. 119) имѣетъ большое сходство съ закрытымъ воздушнымъ термометромъ Шотта (ср. § 13), но Лесли утверждаетъ, что приборъ былъ построенъ имъ самостоятельно. Отъ прибора Шотта термометръ Лесли отличается тѣмъ, что имѣетъ два шарика одинаковой величины и оба колѣна изогнутой трубки имѣютъ одинаковую длину. Воздухъ, заключенный въ одномъ шарикѣ, отдѣляется отъ воздуха въ другомъ столбикомъ окрашенной сѣрной кислоты, удобной тѣмъ, что она испаряется чрезвычайно мало. Діаметръ шариковъ равенъ приблизительно одному дюйму. Приборъ этотъ весьма чувствителенъ.

Графъ Румфордъ устроилъ дифференціальный термометръ, также не зная, по его словамъ, прежнихъ, мало отличныхъ формъ того же прибора. Заключенныя въ шарикахъ массы воздуха въ его термометрѣ были отдѣлены другъ отъ

http://mathesis.ru

друга не длиннымъ столбикомъ жидкости, а лишь одной каплей ея въ горизонтальной части соединительной трубки. Капля занимала средину трубки, если оба шарика имѣли одинаковую температуру (рис. 120).

Для изслѣдованій теплового излученія дифференціальный термометръ имѣетъ большое преимущество передъ обыкновеннымъ: температура окружающаго воздуха не оказываетъ на него никакого вліянія, такъ какъ дѣйствіе ея на одинъ шарикъ уничтожается дѣйствіемъ на другой. Жидкость въ термометрѣ передвигается лишь въ томъ случаѣ, когда одинъ шарикъ (тотъ, на который падаютъ тепловые лучи) принимаетъ болѣе высокую температуру, чѣмъ другой. Показанія такого термометра не зависятъ также отъ давленія воздуха.

Лесли подвергалъ дѣйствію лучей, испускаемыхъ разными гранями куба, которыя покрывались различными веществами, одинъ изъ шариковъ дифференціальнаго термометра; принимая, что количество лучей пропорціонально повышенію температуры, указываемому дифференціальнымъ термометромъ, онъ получилъ для лучеиспускательной способности различныхъ веществъ слѣдующія числа:

сажа	100	ртуть	20
бумага	98	свинецъ (блестящій) . .	19
кронгласъ	90	желѣзо полированное . .	15
ледъ	85	олово, серебро, мѣдь, золото	12

Позже Меллони (§ 135) повторилъ опыты Лесли, пользуясь болѣе чувствительными приборами (§ 137). Онъ получилъ близкія къ указаннымъ числа; принимая испускательную способность сажи за 100, онъ, напримѣръ, нашелъ число 12 для блестящихъ металлическихъ поверхностей (4 для золота и 3 для серебра), 100 для свинцовыхъ бѣлилъ и 72 для шеллака.

Тепловое излученіе металловъ въ высокой степени зависитъ отъ способа ихъ обработки. Тепловое излученіе серебра, химически осажденнаго на мѣдной пластинкѣ, равно 5·3, тогда какъ для прокатаннаго между вальцами серебра оно равно 3, а для полированнаго — не больше 2·1. Чѣмъ плотнѣе наружный слой и чѣмъ глаже (блестящѣе) дѣлается поверхность металла при ковкѣ и полировкѣ, тѣмъ меньше его излученіе. Поэтому, когда желаютъ по возможности уменьшить потерю теплоты излученіемъ, поверхность соотвѣтственнаго предмета покрываютъ полированнымъ до блеска металломъ (ср. § 53).

Шероховатая поверхность излучаетъ гораздо больше тепла, чѣмъ блестящая полированная.

132. Не безынтересенъ очевидно вопросъ о томъ, какая толщина поверхностнаго слоя принимаетъ участіе въ тепловомъ излученіи. Для изслѣдованія этого Меллони покрывалъ одну изъ полированныхъ граней куба Лесли равномѣрнымъ слоемъ лака и затѣмъ опредѣлялъ величину излученія лакированной поверхности. Затѣмъ онъ накладывалъ на ту же грань куба еще одинъ слой лака и вторично опредѣлялъ излученіе и т. д. Въ результатѣ своихъ изслѣдованій онъ нашелъ слѣдующее:

Число слоевъ	1	2	3	4	5	6	8	10	14	18
Излученіе	9·3	13·9	17·8	21·3	24·5	27·4	32·8	35·8	40 3	40·8.

При дальнѣйшемъ увеличеніи числа слоевъ излученіе оставалось неизмѣннымъ. Итакъ, излученіе возрастало только до 18 слоя включительно; послѣ же этого слой лака оказывался уже настолько толстымъ, что излученіе происходило только изъ

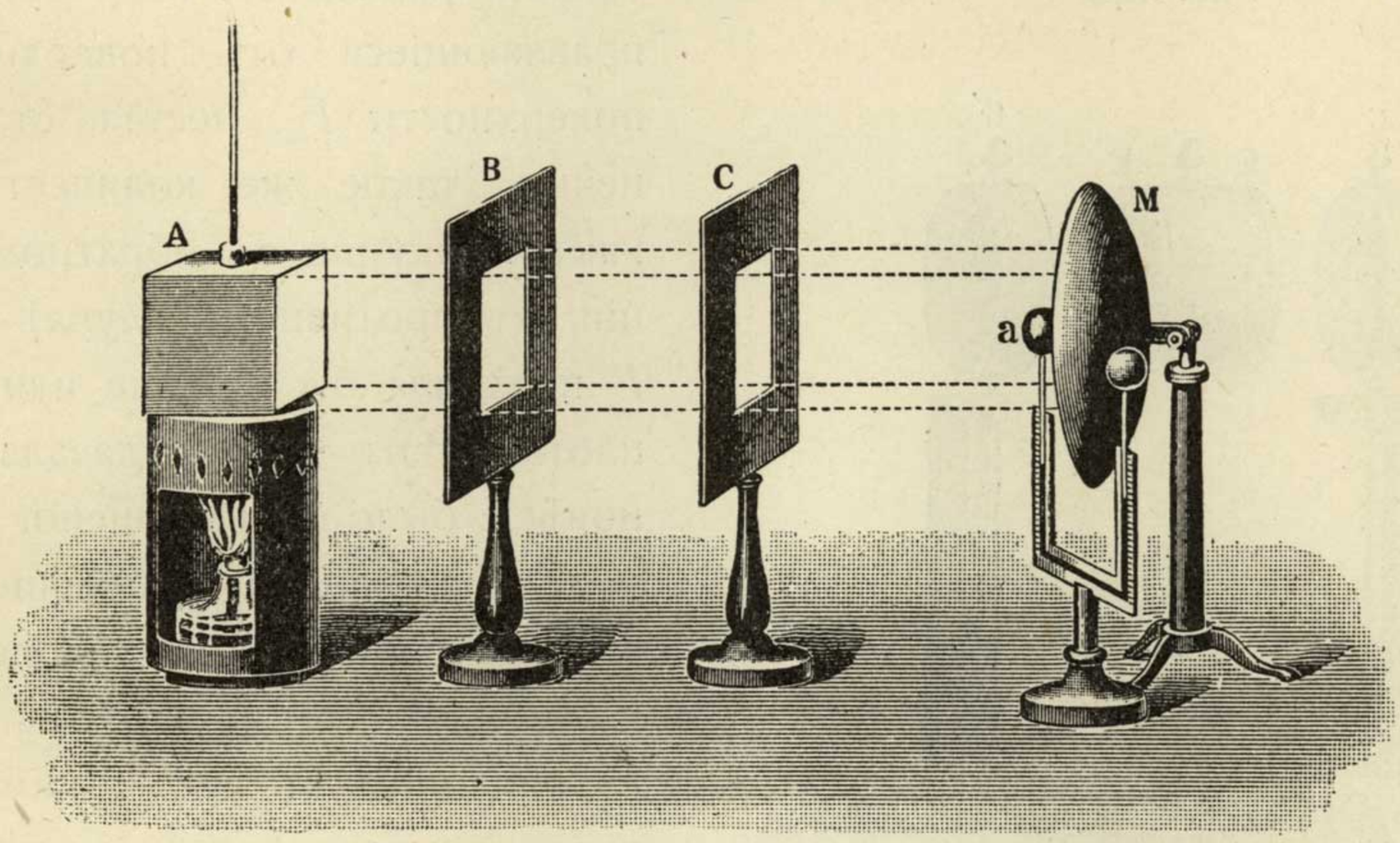
http://mathesis.ru

него, а поверхность металла уже не вліяла на лучеиспусканіе. 18 слоевъ лака на поверхности куба имѣли вмѣстѣ толщину въ 0·04 *мм*.

Для другихъ веществъ излучающій слой имѣетъ другую толщину. Такъ, напримѣръ, Меллони нашелъ, что поверхность золота лучеиспускаетъ изъ глубины, не превышающей 0·002 *мм*.

133. Лесли изслѣдовалъ также, въ какой степени различныя вещества поглощаютъ тепловые лучи, испускаемые его кубомъ. Онъ покрывалъ одинъ шарикъ дифференціальнаго термометра веществомъ, поглощательную способность котораго изслѣдовалъ, и помѣщалъ его въ фокусѣ зеркала, которое собирало лучи, испускаемые кубомъ (рис. 121). Между кубомъ (*A*) и зеркаломъ (*M*) онъ ставилъ два экрана

Рис. 121



Измѣреніе Лесли поглощательной способности.

(*B* и *C*), пропускавшіе на зеркало ограниченный краями ихъ отверстій пучокъ лучей. Въ результатѣ своихъ изслѣдованій Лесли нашелъ, что тѣла, сильно излучающія, имѣютъ и большую поглощательную способность и, наоборотъ, чѣмъ меньше вещество излучаетъ теплоты, тѣмъ меньше оно и поглощаетъ ея.

Вильямъ Ричи (ум. въ 1837 году), сначала священникъ, а впослѣдствіи профессоръ физики въ Royal Institution, доказалъ въ 1833 году путемъ изящнаго опыта, что лучеиспускательная способность тѣла равна его поглощательной способности. На рис. 122 представленъ дифференціальный термометръ GG', имѣющій вмѣсто шариковъ два невысокихъ цилиндра G и G'. Между ними былъ поставленъ цилиндръ EE', наполненный теплой водой; основанія его имѣли такую же поверхность, какъ и основанія цилиндровъ G и G'. Поверхности E и G' были полированы, а поверхности E' и G покрыты сажей.

Жидкость въ дифференціальномъ термометрѣ осталась въ покоѣ: значитъ сосуды G и G' нагрѣлись одинаково и, слѣдовательно, получили одинаковое количество теплоты. Послѣднее возможно лишь при томъ условіи, что отношеніе излученій полированной и зачерненной поверхностей равно отношенію ихъ поглощеній. Если величину излученія зачерненной поверхности примемъ за 100 и допустимъ, что излученіе полированной поверхности въ восемь разъ меньше (ср. § 134), то изъ того, что цилиндры G и G' получаютъ одинаковое количество теплоты, мы должны выве-

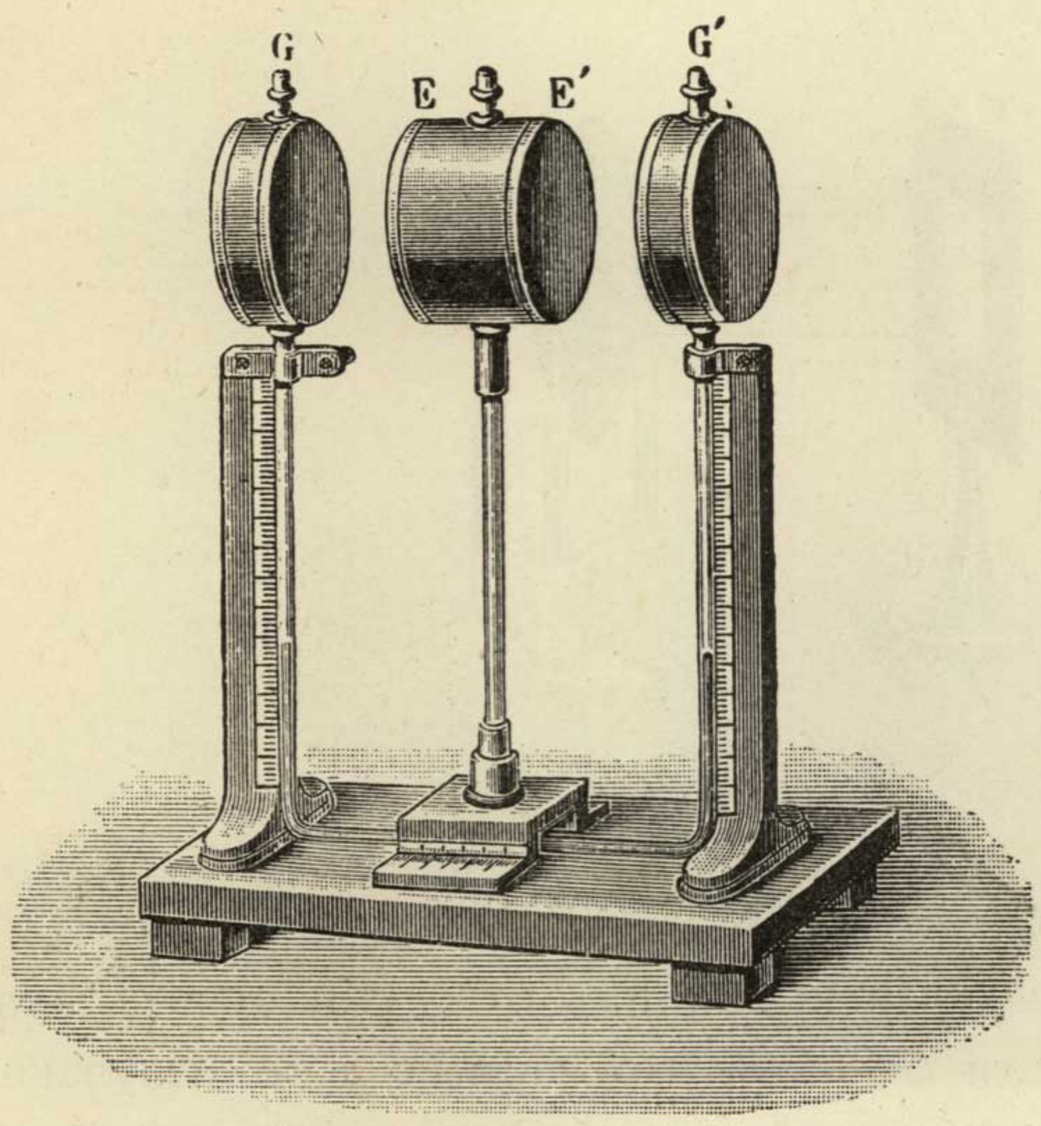
http://mathesis.ru

сти, что и поглощеніе зачерненной поверхности въ восемь разъ превосходитъ поглощеніе полированной.

134. Этотъ законъ объ отношеніи между излученіемъ и поглощеніемъ представляетъ собою простое слѣдствіе изъ положенія о равновѣсіи излученія. Дѣйствительно, если два одинаково нагрѣтыхъ тѣла съ параллельными и плоскими поверхностями находятся одно противъ другого и одно испускаетъ въ два раза больше лучей, чѣмъ другое, то равновѣсіе ихъ излученій можетъ имѣть мѣсто лишь въ томъ случаѣ, когда первое поглощаетъ теплоту въ два раза сильнѣе, чѣмъ второе.

Изъ того же положенія о равновѣсіи излученій можно вывести еще одинъ законъ, выражающій зависимость лучеиспусканія отъ направленія. Пусть (рис. 123) F и F_1 будутъ двѣ поверхности изъ одного и того же вещества, находящіяся въ состояніи равновѣсія излученій. Лучи, направляющіеся отъ поверхности F къ поверхности F_1, несутъ съ собою, конечно, такое же количество теплоты, какъ и идущіе въ обратномъ направленіи; въ противномъ случаѣ поверхность F получала бы больше или меньше теплоты, чѣмъ сама отдавала бы, и равновѣсіе было бы нарушено.

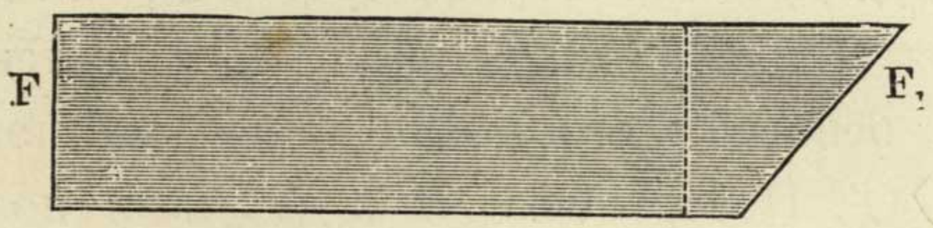
Рис. 122



Опытъ Ричи.

Но площадь F_1 больше площади F, и лучи, идущіе отъ F, перпендикулярны къ ней, лучи же, идущіе отъ поверхности F_1, наклонны къ ней. Такимъ образомъ, перпендикулярно къ излучающей поверхности лучеиспусканіе больше, чѣмъ во всякомъ другомъ направленіи. Пучокъ лучей, исходящій отъ поверхности F, какъ видно изъ рисунка, въ поперечномъ сѣченіи имѣетъ такую же величину, какъ и пучокъ лучей, исходящихъ отъ поверхности F_1. Можно поэтому сказать, что величина излученія въ любомъ направленіи опредѣляется поперечнымъ сѣченіемъ соотвѣтствующаго пучка лучей.

Рис. 123



Отвѣсное и наклонное излученіе.

Разсмотрѣнный законъ былъ указанъ еще Ламбертомъ (§ 127), но опытное доказательство его впервые далъ Лесли.

Лучи, испускаемые кубомъ, проходили сквозь прорѣзъ въ экранѣ и, отразившись отъ вогнутаго зеркала, собирались на шарикѣ дифференціальнаго термометра (рис. 124). При всевозможныхъ положеніяхъ куба дѣйствіе его на термометръ оставалось однимъ и тѣмъ же и во всѣхъ случаяхъ поперечное сѣченіе пучка лучей оставалось равнымъ прорѣзу въ экранѣ.

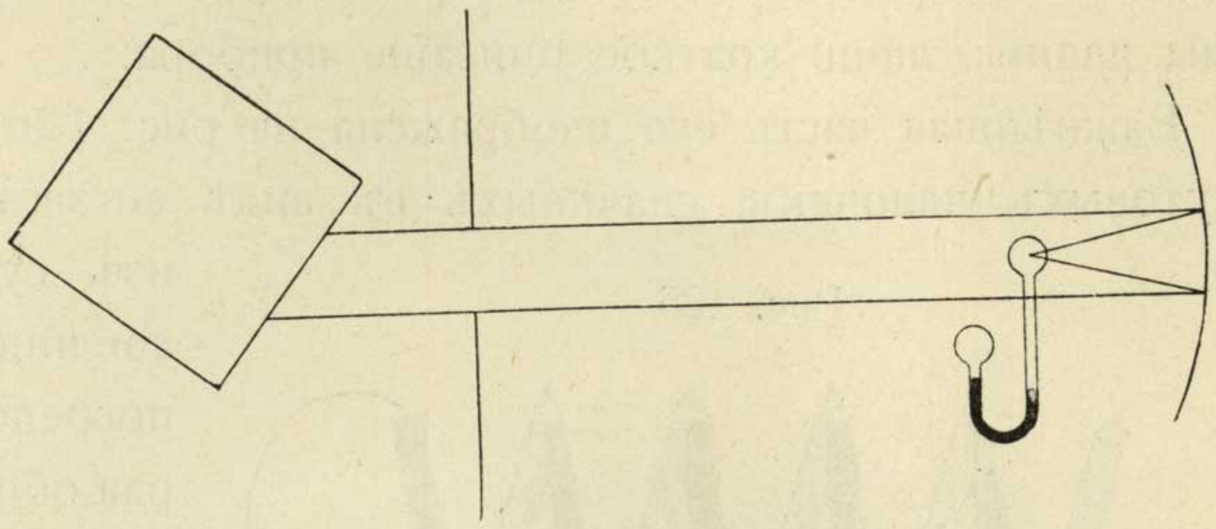
Наконецъ, Лесли показалъ еще, что тепловые лучи отражаются по тому же закону, какъ и свѣтовые, и что поверхности, излучающія небольшое количество

http://rnatnesis.ru

тепла, отражаютъ тепловые лучи въ большомъ количествѣ, тогда какъ сильно излучающія поверхности отражаютъ тепловые лучи слабо.

135. Несмотря на цѣнность работъ Лесли о тепловыхъ лучахъ, для пониманія природы излученія онѣ не имѣли рѣшающаго значенія. Въ этомъ отношеніи болѣе посчастливилось упомянутому нами выше (§ 132) итальянцу Мачедоніо Меллони. Онъ родился въ 1798 году въ Пармѣ. Уже въ юности онъ обнаруживалъ большой интересъ къ естественнымъ наукамъ; онъ такъ ревностно и успѣшно изучалъ эти науки, что уже 26 лѣтъ отъ роду былъ назначенъ профессоромъ въ университетѣ своего родного города. Созерцательный по природѣ, Меллони могъ проводить цѣлыя ночи въ уединенныхъ прогулкахъ и былъ склоненъ къ мистицизму. Этой особенностью его характера, можетъ быть, объясняется, почему онъ выбралъ предметомъ своихъ изслѣдованій таинственные тепловые лучи. Результаты этихъ изслѣдованій онъ началъ печатать въ 1831 году, но въ томъ же году изъ-за политическихъ смутъ онъ былъ высланъ со своей родины. Послѣ кратковременнаго пребыванія въ Парижѣ, гдѣ онъ познакомился съ Араго, Меллони отправился въ Женеву, гдѣ въ это время Пьеръ Прево (§ 128) производилъ свои изслѣдованія по вопросу о тепловыхъ лучахъ. Здѣсь Меллони работалъ полгода. Затѣмъ онъ уѣхалъ въ Парижъ, чтобы представить Академіи докладъ о полученныхъ имъ результатахъ. Встрѣтивъ здѣсь очень холодный пріемъ, онъ рѣшилъ напечатать свою работу на собственный счетъ. Royal Society присудило ему медаль имени Румфорда, а позже его изслѣдованія получили должную оцѣнку и со стороны Парижской Академіи. Въ 1839 году Меллони получилъ разрѣшеніе вернуться въ Италію. Здѣсь онъ былъ назначенъ директоромъ Консерваторіи Искусствъ и Ремеслъ, а впослѣдствіи (1848) также директоромъ не задолго предъ тѣмъ сооруженной метеорологической обсерваторіи на Везувіи. Онъ весь отдался научной дѣятельности и не принималъ никакого участія въ политикѣ. Тѣмъ не менѣе въ 1848 году возобновились нападки на него и въ слѣдующемъ году онъ счелъ необходимымъ оставить свое мѣсто. Онъ совершенно устранился отъ

Рис. 124



Опытъ Лесли относительно закона излученій.

Рис. 125



Мачедоніо Меллони.

http://mathesis.ru

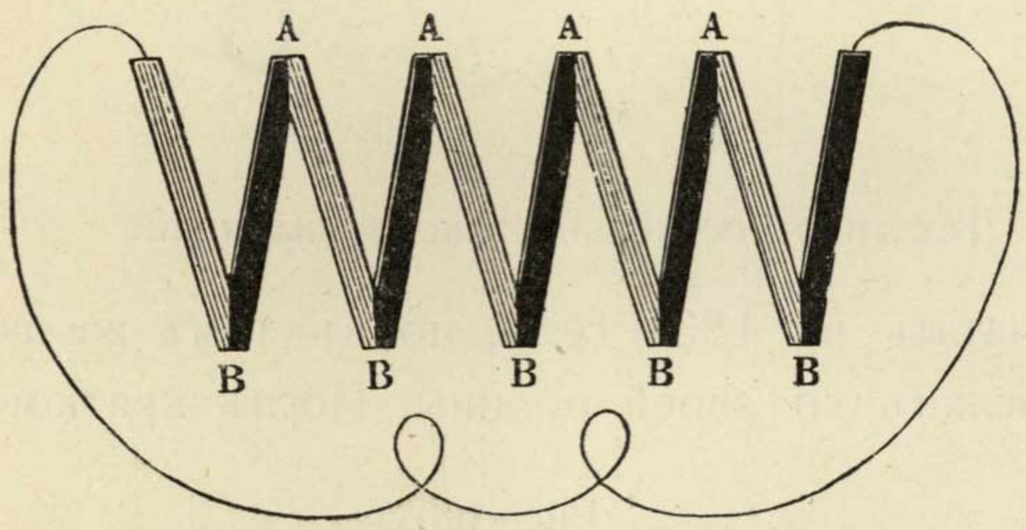
общественной дѣятельности и поселился въ Портичи. Здѣсь онъ умеръ отъ холеры въ 1854 году.

136. Раньше, чѣмъ разсмотрѣть работы Меллони, мы должны познакомиться съ однимъ приборомъ, которымъ Меллони пользовался при своихъ изслѣдованіяхъ и безъ котораго онъ не могъ бы выполнить своихъ тонкихъ измѣреній. Приборъ этотъ есть термоскопъ Нобили.

Леопольдо Нобили (1784—1835), другъ и землякъ Меллони, былъ профессоромъ во Флоренціи. Его термоскопъ представляетъ собою электрическій приборъ, дѣйствіе котораго станетъ намъ понятно, когда мы познакомимся съ нѣкоторыми явленіями изъ области электричества, о которыхъ рѣчь будетъ ниже; теперь же мы дадимъ лишь краткое описаніе прибора.

Важнѣйшая часть его изображена на рис. 126. Она состоитъ изъ нѣсколькихъ висмутовыхъ палочекъ, спаянныхъ въ видѣ зигзага съ равнымъ числомъ палочекъ изъ сурьмы. Крайняя палочка висмута соединена съ крайней палочкой сурьмы посредствомъ мѣдной проволоки, которая образуетъ петлю, окружающую легко подвижную магнитную стрѣлку. Пока оба ряда спаевъ имѣютъ одну и ту же температуру, эта магнитная стрѣлка остается въ покоѣ. Если же нагрѣть спаи одного ряда, напримѣръ, нижняго, то возникаетъ электрическій токъ, который идетъ по проволокѣ отъ сурьмы къ висмуту. Дѣйствіемъ этого тока магнитная стрѣлка отклоняется и притомъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ сильнѣе токъ, чѣмъ больше число спаевъ и чѣмъ больше разность температуръ обоихъ рядовъ спаевъ. Такимъ образомъ, электрическій токъ возникаетъ въ этомъ приборѣ благодаря неодинаковому нагрѣванію спаевъ, а сила тока измѣряется величиною отклоненія стрѣлки.

Рис. 126



Термоэлектрическіе элементы.

Тридцать паръ спаянныхъ металлическихъ палочекъ, т. е. 30 термоэлектрическихъ элементовъ, образующихъ вмѣстѣ непрерывный (зигзагообразный) металлическій проводникъ, складываются въ видѣ куба, который вставляется въ металлическую оправу (рис. 127); другъ отъ друга пары отдѣляются изолирующимъ слоемъ (смолы или каучука). Двѣ группы спаевъ образуютъ противоположныя стороны куба. Первая палочка висмута и послѣдняя сурьмы этого такъ называемаго термоэлектрическаго столбика соединены посредствомъ мѣдной проволоки съ мультипликаторомъ—приборомъ, существенную часть котораго составляетъ легкоподвижная магнитная стрѣлка, окруженная проволочной обмоткой съ большимъ числомъ оборотовъ. Въ свое время мы дадимъ подробное объясненіе этого прибора.

137. Соединенный съ мультипликаторомъ термоэлектрическій столбикъ представляетъ чрезвычайно чувствительный дифференціальный термометръ. Достаточно ничтожнѣйшей разности температуры на двухъ сторонахъ куба, на которыхъ находятся двѣ группы спаевъ, чтобы тотчасъ же возникъ электрическій токъ, отклоняющій магнитную стрѣлку.

Термоэлектрическій столбикъ Нобили особенно удобенъ для изслѣдованія те-

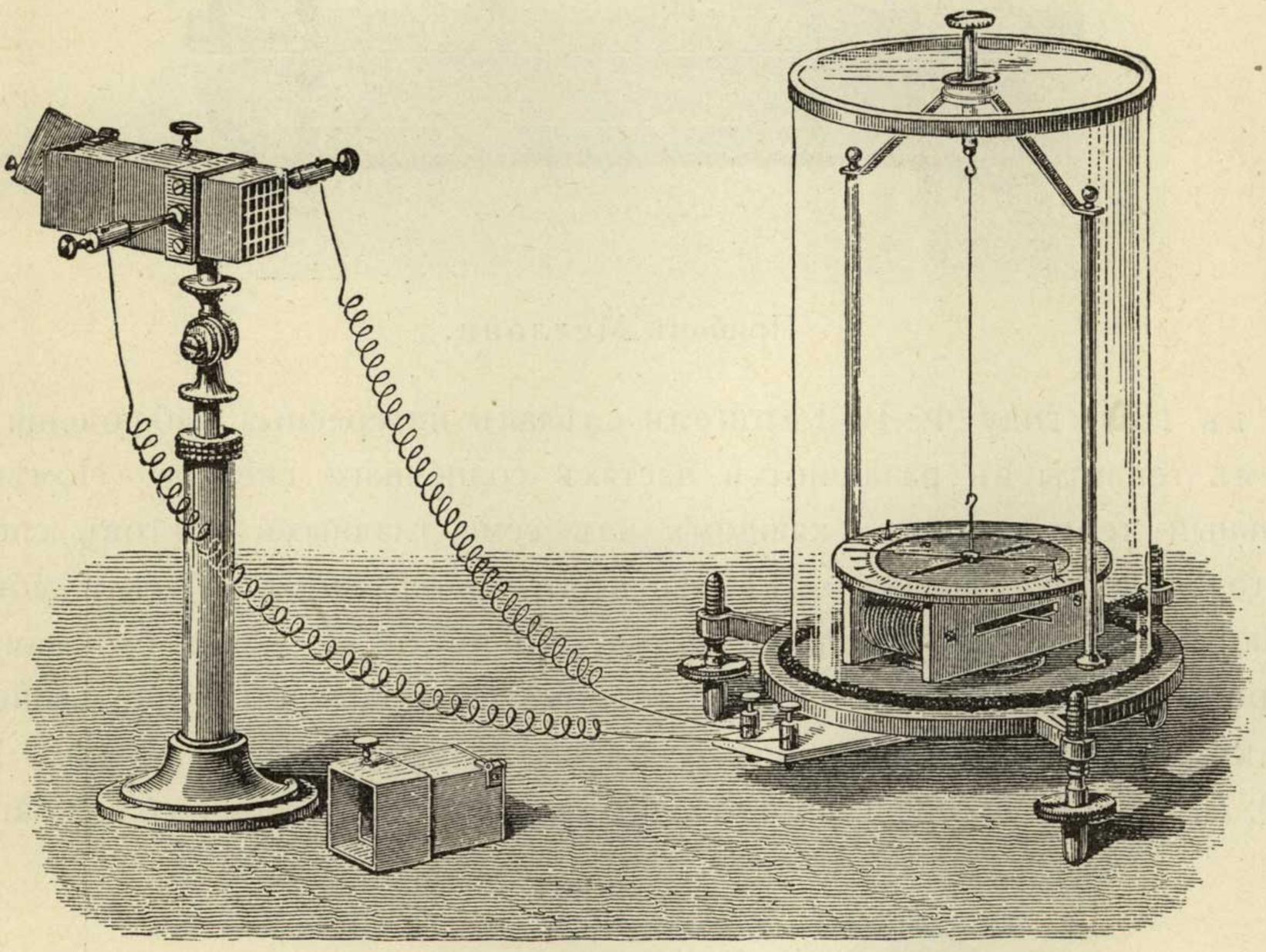
http://mathesis.ru

пловыхъ лучей. Столбикъ окруженъ полированной металлической оправой, оставляющей открытыми лишь тѣ двѣ поверхности, на которыхъ находятся мѣста спайки; ту изъ двухъ послѣднихъ поверхностей, которая не должна нагрѣваться, можно закрывать подвижной металлической пластинкой. Чтобы увеличить поглощательную способность противоположной поверхности, ее покрываютъ сажей.

Нобили и Меллони, работавшіе одно время вмѣстѣ, убѣдились, что величина отклоненія магнитной стрѣлки пропорціональна количеству теплоты, которое группа спаевъ получаетъ въ силу излученія. На основаніи ряда опытовъ они составили таблицу, по которой можно было непосредственно отсчитать, какому нагрѣванію поверхности, получающей тепловые лучи, соотвѣтствовало данное отклоненіе магнитной стрѣлки.

Чувствительность термоэлектрическаго столбика чрезвычайно велика, какъ можно судить изъ слѣдующаго: лучи, испускаемые человѣческимъ тѣломъ, будучи собраны

Рис. 127



Термоэлектрическій столбикъ и мультипликаторъ.

вогнутымъ зеркаломъ, даютъ ясное отклоненіе стрѣлки даже въ томъ случаѣ, когда человѣкъ находится на разстояніи 50 футовъ отъ столбика. Сравнивая столбикъ съ весьма чувствительнымъ дифференціальнымъ термометромъ, Меллони нашелъ, что мультипликаторъ давалъ отклоненіе стрѣлки, когда разстояніе между нимъ и излучающимъ тѣломъ въ семь разъ превосходило соотвѣтственное разстояніе тѣла отъ дифференціальнаго термометра. Первый приборъ Нобили состоялъ только изъ шести паръ металлическихъ палочекъ, а Меллони довелъ число паръ до 16.

138. Первое сообщеніе Меллони о тепловыхъ лучахъ было напечатано въ 1821 году и изслѣдованіемъ относящихся сюда вопросовъ онъ занимался вплоть до своей смерти (1854 г.).

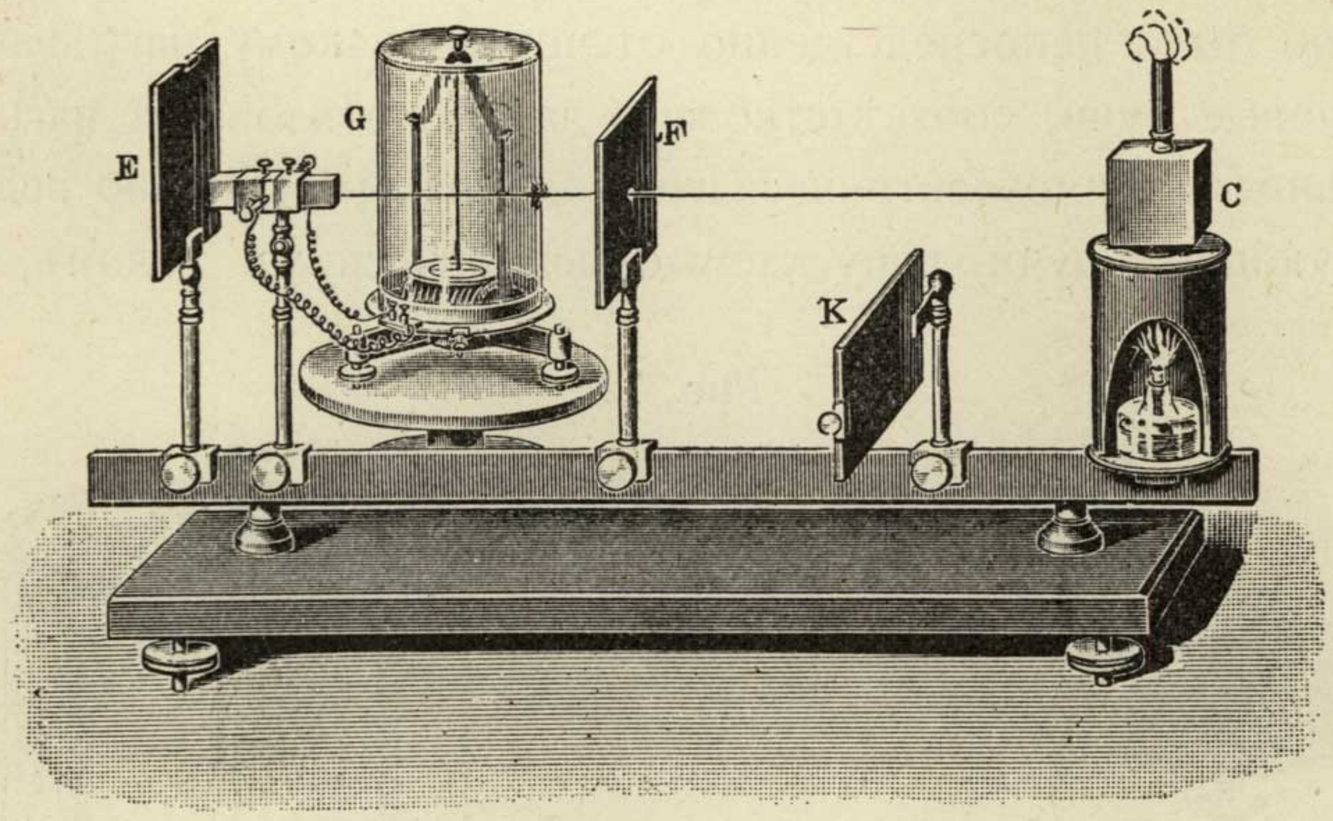
Меллони повторилъ опытъ Лесли съ тепловымъ излученіемъ, видоизмѣнивъ его, какъ показано на рис. 128. Лучи, исходящіе отъ куба *C*, проходили черезъ

http://mathesis.ru

отверстіе въ экранѣ *F*, такъ что на столбикъ падалъ пучокъ лучей, поперечное сѣченіе котораго было равно величинѣ отверстія въ экранѣ. Экранъ *E* защищаетъ отъ нагрѣванія противоположную сторону столбика, а экранъ *K* задерживаетъ лучи, исходящіе отъ лампочки, которая служитъ для нагрѣванія.

Особенно важное значеніе имѣютъ изслѣдованія Меллони о способности тѣлъ пропускать тепловые лучи (теплопрозрачность).

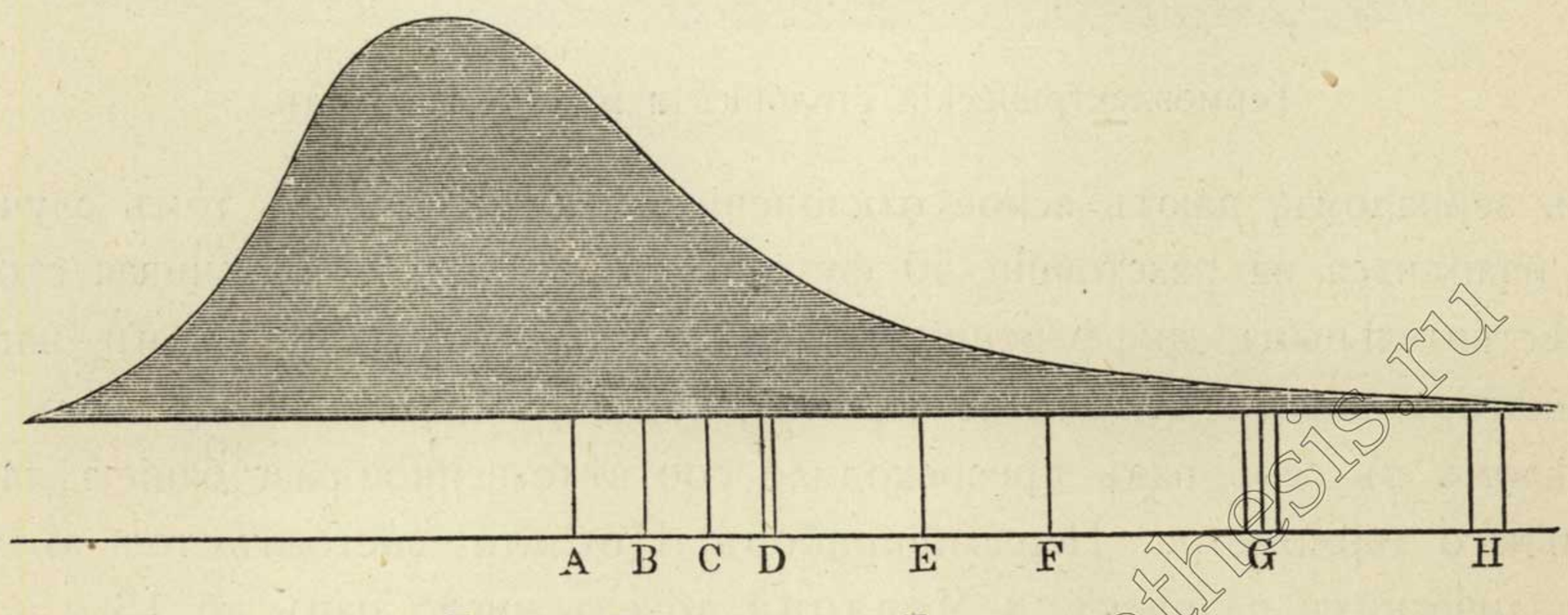
Рис. 128



Приборъ Меллони.

Еще въ 1800 году Ф. В. Гершель сдѣлалъ интересныя наблюденія надъ распредѣленіемъ теплоты въ различныхъ частяхъ солнечнаго спектра. Помѣщая очень чувствительный термометръ въ каждомъ изъ семи главныхъ цвѣтовъ спектра, онъ нашелъ, что тепловые эффекты замѣтнѣе всего въ красномъ цвѣтѣ и убываютъ по направленію къ фіолетовому концу спектра. Но въ то же время онъ замѣтилъ, что по ту сторону краснаго конца спектра термометръ подымается еще выше, чѣмъ въ видимыхъ красныхъ лучахъ. Результаты Гершеля представлены на рис. 129. Здѣсь *A, B, C, D, E, F, G* и *H* представляютъ Фраунгоферовы линіи солнечнаго спектра,

Рис. 129



Тепловой спектръ по Гершелю.

а кривая линія надъ спектромъ указываетъ величину теплового дѣйствія въ различныхъ частяхъ спектра. Нагрѣваніе увеличивается отъ фіолетоваго (*H*) къ красному (*A*) и дальше за краснымъ концомъ видимаго спектра, но затѣмъ быстро убываетъ.

Это было нѣчто совсѣмъ новое и Гершель считалъ возможнымъ видѣть въ

http://mathesis.ru

этомъ доказательство того, что тепловые лучи преломляются по такому же закону, какъ и видимые свѣтовые лучи. Онъ мѣтко выразилъ свой взглядъ, говоря, „что всѣ лучи солнечнаго свѣта, которые преломляются подобно цвѣтнымъ лучамъ, дѣйствуютъ на глазъ, какъ свѣтъ, между тѣмъ какъ менѣе преломляемые, т. е. лежащіе за краснымъ концомъ, поглощаются жидкостью глаза и кожей и вызываютъ ощущеніе тепла“.

Джонъ Лесли самымъ рѣшительнымъ образомъ возсталъ противъ утвержденія Гершеля, что „тепловой“ спектръ длиннѣе „свѣтового“, и особенно боролся противъ того мнѣнія Гершеля, что темные тепловые лучи отличаются отъ свѣтовыхъ лишь меньшей преломляемостью. Лесли объяснялъ тепловое дѣйствіе спектра за краснымъ концомъ тѣмъ предположеніемъ, что теплота красныхъ лучей сообщается воздуху. Опыты Гершеля были повторены различными физиками. Правда, всѣ они нашли, что тепловое дѣйствіе простирается за предѣлы видимаго спектра, но ихъ указанія того мѣста, гдѣ нагрѣваніе наиболѣе сильно, плохо согласовались между собой. Лишь Зеебекъ понялъ, что причина этихъ различій заключается въ употребленіи, для полученія спектра, призмъ изъ различныхъ сортовъ стекла.

Для однихъ сортовъ стекла мѣсто наибольшаго нагрѣванія находилось въ красной части спектра, для другихъ въ желтой. Во всѣхъ цвѣтныхъ изображеніяхъ, полученныхъ помощью призмъ, говоритъ Зеебекъ въ своемъ трудѣ, относящемся къ 1819 году, имѣетъ мѣсто тепловое дѣйствіе, возрастающее по направленію отъ фіолетоваго конца къ красному. Для нѣкоторыхъ призмъ мѣсто наибольшаго нагрѣванія находится въ красной части, для кронгласа и обыкновеннаго мягкаго стекла въ желтой части, для призмъ изъ флинтгласа за красной частью, но при всѣхъ призмахъ можно обнаружить тепловое дѣйствіе также и за краснымъ концомъ. Зеебекъ зналъ также, что и за фіолетовой частью спектра находятся лучи, которые, впрочемъ, оказываютъ очень незначительное тепловое дѣйствіе, но зато сильно дѣйствуютъ химически.

139. Меллони производилъ свои первые опыты надъ прохожденіемъ тепловыхъ лучей черезъ различныя тѣла такимъ образомъ, что на термомультипликаторъ падали различные цвѣта солнечнаго спектра, полученнаго сквозь призму изъ кронгласа. Онъ выбралъ въ спектрѣ семь мѣстъ, соотвѣтствовавшихъ семи главнымъ цвѣтамъ, и искалъ на продолженіи спектра мѣста, имѣвшія одинаковую температуру съ мѣстами, взятыми въ видимой части спектра. Затѣмъ онъ помѣщалъ между призмой и термомультипликаторомъ слой воды въ 1 *мм* толщиной, ограниченный двумя стеклянными пластинками, и снова наблюдалъ отклоненія стрѣлки термомультипликатора для тѣхъ же лучей. Въ результатѣ этихъ измѣреній получились числа ближайшей таблицы.

Числа въ графѣ „потеря“ показываютъ, какая часть тепловыхъ лучей поглощалась водянымъ слоемъ. Слѣдуетъ помнить (§ 137), что отклоненія стрѣлки мультипликатора находятся въ извѣстномъ отношеніи къ теплотѣ, доставляемой лучами столбику термомультипликатора.

Изъ таблицы видно, что существуютъ различные тепловые лучи и что они въ различной степени проходятъ черезъ тонкій водяной слой. Фіолетовые лучи проходятъ неослабленными, но для другихъ лучей вода менѣе проницаема и тѣмъ менѣе, чѣмъ ближе лежатъ лучи къ красному концу спектра. Для лучей, лежащихъ за краснымъ концомъ спектра, вода, наконецъ, становится непроницаемой.

http://mathesis.ru

	Отклоненіе стрѣлки		Потеря
	Безъ водяного слоя	Съ водянымъ слоемъ	
Фіолетовый	2	2	0·
Синій	5	4·5	0·10
Голубой	9	8	0·11
Зеленый	12	10	0·17
Желтый	25	20	0·20
Оранжевый	29	21	0·27
Красный	32	20	0·37
Мѣста въ невидимой (ультра-красной) части спектра	29	14	0·52
	25	9	0·64
	12	3	0·75
	9	1	0·88
	5	0·5	0·90
	2	0	1·00

140. При дальнѣйшихъ изслѣдованіяхъ Меллони нашелъ, что различныя тѣла пропускаютъ какъ свѣтовые, такъ и тепловые лучи въ очень различной степени. По отношенію къ свѣту тѣла дѣлятся прежде всего на прозрачныя и непрозрачныя. Но и для различныхъ цвѣтовъ проницаемость тѣлъ очень различна. Красное стекло пропускаетъ лишь красные лучи, а голубое лишь голубые лучи. Меллони показалъ, что подобнымъ же образомъ тѣла обладаютъ и „теплоцвѣтностью“, т. е. что они въ неодинаковой степени пропускаютъ различные (неодинаковой преломляемости) тепловые лучи.

Чтобы получить тепловые лучи различной преломляемости, Меллони пользовался четырьмя различными источниками тепла: пламенемъ яркой лампы (лампы Локателли), платиновой проволокой, накаливавшейся на спиртовомъ пламени, мѣдной пластинкой, нагрѣтой до 390° С, и зачерненной поверхностью куба Лесли, наполненнаго кипящей водой.

Отъ лампы Локателли и платиновой спирали исходили какъ свѣтлые, такъ и темные лучи, между тѣмъ какъ отъ мѣдной пластинки и отъ поверхности куба шли только темные лучи.

Путемъ точныхъ опытовъ Меллони нашелъ, какой процентъ лучей отъ этихъ четырехъ источниковъ тепла проходилъ черезъ различныя тѣла, изъ которыхъ вышлифовывались пластинки одинаковой толщины.

Вотъ нѣкоторые изъ полученныхъ имъ результатовъ:

	Лампа Локателли	Раскаленная платина	Мѣдная пластинка при 390°	Поверхность куба при 100°
Каменная соль (толщиной въ 2·6 *мм*).	92	92	92	92
Зеркальное стекло (тоже).	39	24	6	0
Дымчатый топазъ (тоже).	37	28	6	0
Ледъ (толщиной въ 2 *мм*).	6	0	0	0

http://mathesis.ru

Изслѣдована была также и теплопрозрачность жидкостей. Такъ какъ онѣ находились между стеклянными пластинками, то въ качествѣ источника тепла возможно было пользоваться лишь лампой Локателли, лучи же другихъ источниковъ поглощались стекломъ въ слишкомъ большой степени. Толщина слоя жидкости была 9·2 *мм*.

Сѣрнистый углеродъ	63
Хлористая сѣра	63
Терпентинное масло	31
Дистиллированная вода	11.

Изъ этихъ измѣреній ясно видно, что большая прозрачность отнюдь не позволяетъ дѣлать заключеній о значительной проницаемости для тепловыхъ лучей. Чистое стекло и совершенно прозрачный ледъ совсѣмъ не пропускаютъ лучей отъ наименѣе нагрѣтаго источника, а съ другой стороны темнокоричневая хлористая сѣра проницаема для тепловыхъ лучей въ значительно бо̀льшей степени, чѣмъ чистая безцвѣтная вода. Меллони нашелъ лишь одно вещество, одинаково пропускающее различные тепловые лучи. Это—каменная соль. Сквозь пластинку каменной соли всегда проходило 92% тепловыхъ лучей, безразлично, испускаются ли они свѣтящимся или темнымъ источникомъ тепла. Подобно каменной соли (хлористый натрій) и сильвинъ (хлористый калій) обладаетъ бѣлой „теплоцвѣтностью“, т. е. пропускаетъ равныя количества всевозможныхъ тепловыхъ лучей. Какъ общее правило, впрочемъ, прозрачныя и безцвѣтныя тѣла наиболѣе проницаемы для самыхъ „теплыхъ“ лучей наибольшей преломляемости и менѣе проницаемы для „болѣе холодныхъ“ лучей, т. е. для тѣхъ, которые обладаютъ меньшей преломляемостью. Но эта проницаемость различна для различныхъ лучей. Всякое тѣло пропускаетъ преимущественно нѣкоторые опредѣленные лучи, подобно тому, какъ зеленое стекло поглощаетъ всѣ свѣтовые лучи за исключеніемъ зеленыхъ. Всякое тѣло обладаетъ, такъ сказать, опредѣленнымъ „тепловымъ цвѣтомъ“.

141. Меллони изслѣдовалъ далѣе вліяніе толщины пластинокъ и нашелъ, какъ и слѣдовало ожидать, что лучей поглощалось тѣмъ больше, чѣмъ толще была пластинка, однако, не пропорціонально толщинѣ. Послѣ прохожденія лучей черезъ одну пластинку, черезъ вторую проходилъ значительно бо̀льшій процентъ ихъ. Это находится въ связи съ „теплоцвѣтностью“. Дѣйствительно, при паденіи различныхъ лучей на первую пластинку ею поглощаются тѣ, которые съ нею неодинаковаго цвѣта, и лишь лучи одинаковаго цвѣта проходятъ черезъ нее. Когда эти одноцвѣтные лучи встрѣчаютъ затѣмъ вторую пластинку того же рода, то поглощеніе происходитъ, разумѣется, значительно слабѣе. Но и черезъ вторую пластинку лучи не проходятъ цѣликомъ.

Это объясняло также наблюденія Зеебека и другихъ физиковъ, что наиболѣе сильное тепловое дѣйствіе въ спектрѣ замѣчается то въ желтой части спектра, то въ красной, или даже за видимой его частью, такъ какъ оно зависитъ отъ „теплоцвѣтности“, которою обладаетъ взятая призма.

142. Тиндалль нашелъ, что совершенно непрозрачный растворъ іода въ сѣрнистомъ углеродѣ въ весьма значительной степени пропускаетъ темные лучи, и воспользовался такимъ растворомъ, чтобы найти, какое количество свѣтлыхъ и темныхъ лучей испускается различными источниками тепла. Сосудъ изъ каменной соли съ параллельными стѣнками наполнялся чистымъ сѣрнистымъ углеродомъ. Тепловые

http://mathesis.ru

лучи на пути къ термоэлектрическому столбику проходили черезъ сѣрнистый углеродъ. Послѣ наблюденія показанія стрѣлки мультипликатора сѣрнистый углеродъ замѣняли растворомъ іода и снова наблюдали отклоненіе стрѣлки. Оказалось, что бо́льшая часть лучей, испускаемыхъ обычными источниками свѣта, темные.

Источникъ свѣта	Свѣтлые лучи	Темные лучи
Зачерненная металлическая поверхность, 100° С. .	0	100
Раскаленная докрасна платиновая спираль . . .	0	100
Масляное пламя	3	97
Газовое „	4	96
Электрическій свѣтъ	11	89

Излученіе нашихъ сильнѣйшихъ даже источниковъ свѣта состоитъ, слѣдовательно, преимущественно изъ темныхъ лучей.

143. Несомнѣнно, особый интересъ представляетъ вопросъ, какое количество тепла доставляется землѣ солнечными лучами и какая часть этихъ лучей свѣтлые и какая — темные. Термомультипликаторъ представляетъ достаточно чувствительный термометръ для такихъ измѣреній, а изъ каменной соли можно вышлифовать призмы, одинаково прозрачныя для различныхъ лучей. Но большое затрудненіе заключается въ томъ, что солнечные лучи, прежде чѣмъ они достигнутъ земной поверхности, должны пройти атмосферу и заключающіеся въ ней водяные пары.

Тиндалль измѣрилъ поглощающее дѣйствіе различныхъ газовъ на тепловые лучи и нашелъ, что атмосферный воздухъ, кислородъ, азотъ и водородъ почти совершенно не поглощаютъ тепловыхъ лучей, испускаемыхъ тѣломъ, нагрѣтымъ до температуры выше 100° С. Напротивъ, другіе газы, напримѣръ, амміакъ, поглощаютъ такіе лучи въ замѣтной степени. Поглощательной способности паровъ соотвѣтствуетъ, какъ нашелъ Тиндалль, поглощательная способность соотвѣтствующихъ жидкостей. Такъ какъ вода мало прозрачна для тепловыхъ лучей (ср. § 140), то водяные пары поглощаютъ значительную часть тепловыхъ лучей. Однако, надежныхъ измѣреній или вычисленій поглощательнаго дѣйствія атмосферы на солнечные лучи не существуетъ и до сихъ поръ.

144. Зато мы имѣемъ много измѣреній количества тепла, доставляемаго земной поверхности солнечными лучами.

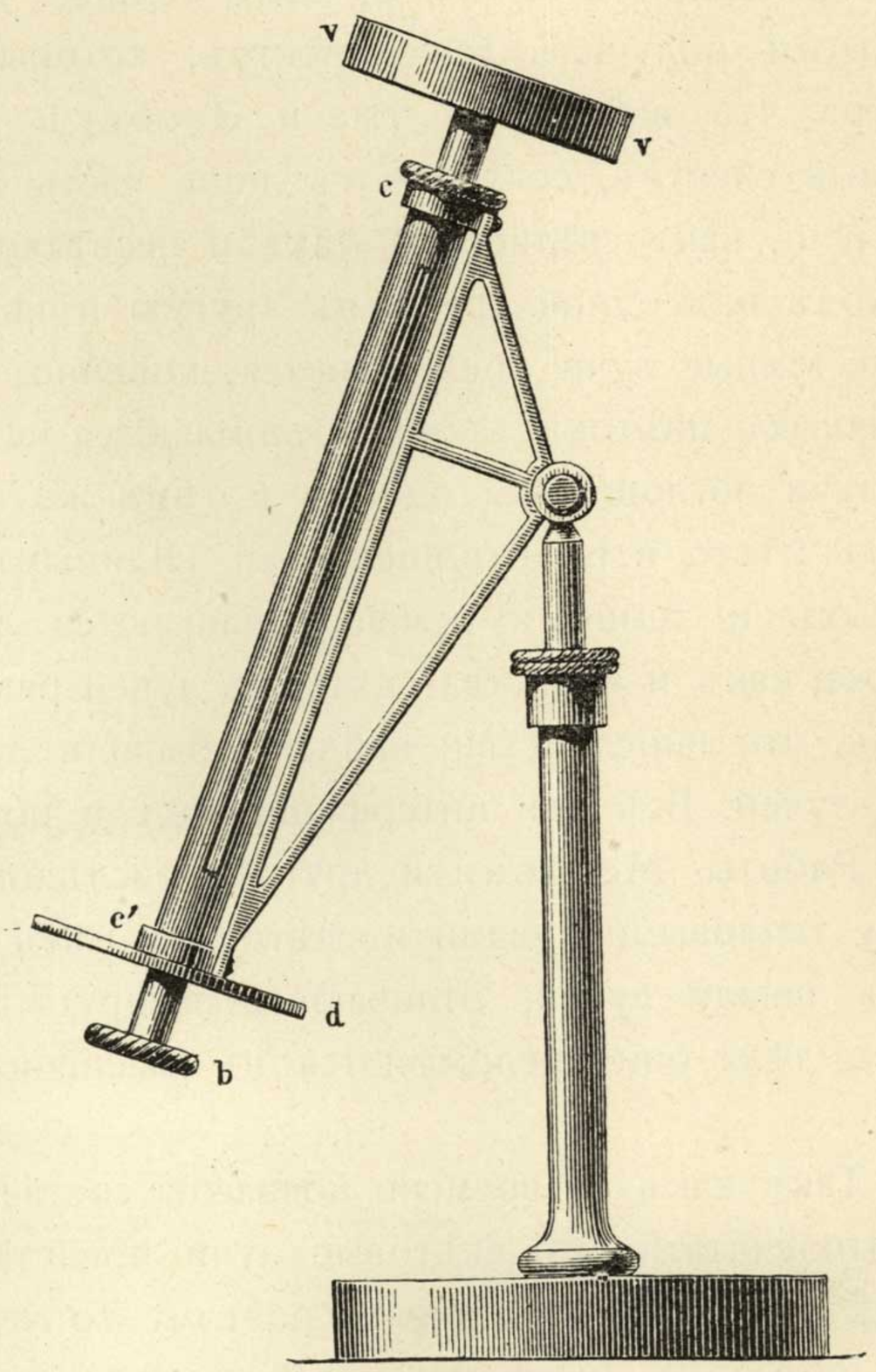
Первые опыты подобнаго рода были сдѣланы Бугеромъ въ 1729 году, а впослѣдствіи этимъ вопросомъ занимались Ламбертъ и Лесли. Но сколько-нибудь точные результаты были получены лишь Клодомъ Пулье (1790—1868). Онъ пользовался для своихъ изслѣдованій такъ называемымъ пиргеліометромъ (рис. 130). Существенную часть этого прибора составляетъ плоскій цилиндръ *V* изъ листового серебра, наполненный 100 *г* воды. Въ этомъ резервуарѣ съ водой находится шарикъ термометра, трубка котораго заключена въ металлическую трубку *cc′*. Послѣдняя свободно входитъ въ болѣе широкую трубку, такъ что ея вращеніемъ можно перемѣшивать воду и поддерживать въ ней повсюду одинаковую температуру. Пулье устанавливалъ приборъ такъ, что солнечные лучи падали перпендикулярно на зачерненное основаніе цилиндра. Чтобы приводить цилиндръ въ надлежащее положеніе, достаточно было совмѣстить тѣнь цилиндра съ тѣнью круглой пластинки,

http://mathesis.ru

помѣщенной на другомъ концѣ трубки и имѣвшей одинаковый поперечникъ съ цилиндромъ.

Въ началѣ опыта цилиндръ защищаютъ экраномъ отъ дѣйствія солнечныхъ лучей и въ теченіе пяти минутъ наблюдаютъ ходъ показаній термометра. Затѣмъ удаляютъ экранъ и снова наблюдаютъ показанія термометра въ теченіе слѣдующихъ пяти минутъ. Наконецъ снова ставятъ экранъ и еще разъ наблюдаютъ показанія термометра въ теченіе пяти минутъ. Изъ этихъ трехъ наблюденій можно затѣмъ вычислить нагрѣваніе, сообщаемое водѣ дѣйствіемъ солнечныхъ лучей. Первое и третье наблюденія служатъ для того, чтобы опредѣлить вліяніе окружающей среды въ теченіе средняго промежутка.

Рис. 130



Пиргеліометръ Пулье.

Пулье нашелъ, какъ и слѣдовало ожидать, что поглощающее дѣйствіе атмосферы въ различное время дня очень различно. Утромъ и вечеромъ, когда солнце стоитъ низко, его лучи должны проходить черезъ значительно болѣе толстый слой воздуха, чѣмъ въ полдень, когда солнце стоитъ высоко.

Термометръ пиргеліометра подымался за 5 минутъ

въ	12	1	2	3	4	5	6 час.
на	4·8⁰	4·7⁰	4·6⁰	4·3⁰	3·9⁰	3·2⁰	2·0⁰.

Изъ этихъ наблюденій Пулье нашелъ, что солнечная постоянная, т. е. то количество тепла, которое получаетъ въ 1 минуту 1*квсм* зачерненной поверхности, освѣщаемой перпендикулярными лучами солнца, равна 1·76 граммкалоріи. Величина эта, однако, слишкомъ мала. Изъ позднѣйшихъ наблюденій найдено, что она равна приблизительно 3. Поверхность въ 1 квадратный сантиметръ, на которую солнечные лучи падаютъ перпендикулярно, получаетъ въ теченіе года $3 \times 60 \times 24 \times 365^1/_4 =$ около 1 600 000 граммкалорій. Это количество тепла было бы въ состояніи растопить 20 000 *г* льда. Получившаяся вода образовала бы столбъ того же сѣченія въ 200 *м* высотою. Говоря о количествѣ тепла, которое доставляется всей поверхности земли солнечными лучами, нужно помнить, что солнцемъ всегда освѣщается лишь половина земной поверхности и что солнечные лучи падаютъ на бо̀льшую часть освѣщаемой поверхности наклонно. Въ дѣйствительности земная поверхность получаетъ лишь такое количество солнечной теплоты, какое падало бы на перпендикулярную къ лучамъ поверхность круга, равнаго экватору. Не все это количество тепла поглощается землей, такъ какъ поверхность ея не черна и обладаетъ поэтому значительно меньшей поглощательной способностью, чѣмъ предполагалось при приведенныхъ вычисленіяхъ. Какъ велико количество теплоты, дѣйствительно поглощаемое землей, неизвѣстно. Но такъ какъ средняя темпе-

http://mathesis.ru

ратура земли (приблизительно 15° C) остается изъ года въ годъ неизмѣнной, то теплота, полученная отъ солнца, снова должна излучаться въ междупланетное пространство.

145. Предположеніе Гершеля о соотношеніи между свѣтовыми лучами и темными тепловыми (§ 138) нашло полное подтвержденіе въ изслѣдованіяхъ Меллони. Разница между этими двумя видами лучей заключается лишь въ томъ, что свѣтлые лучи преломляются сильнѣе, чѣмъ темные. При помощи призмы изъ каменной соли Меллони получилъ даже спектръ, который продолжался за оба конца видимаго спектра, что наблюдалъ уже и Зеебекъ (§ 138). Лучи, изъ которыхъ состоитъ видимый спектръ, составляютъ лишь часть лучей, испускаемыхъ нагрѣтымъ тѣломъ. Всѣ лучи, какъ свѣтящіеся, такъ и несвѣтящіеся, слѣдуютъ закону отраженія и при переходѣ изъ одной среды въ другую и тѣ и другіе дѣйствуютъ одинаково. Свѣтлые и темные лучи преломляются, конечно, не одинаково сильно, но и свѣтлые лучи различныхъ цвѣтовъ также преломляются не въ одинаковой степени. Свѣтлые и темные лучи поглощаются однимъ и тѣмъ же тѣломъ въ различной степени, но то же имѣетъ мѣсто и по отношенію къ видимымъ лучамъ различныхъ цвѣтовъ. Свойства свѣтлыхъ и темныхъ лучей различаются лишь количественно, но не качественно, такъ же, какъ и свойства свѣтлыхъ лучей различныхъ цвѣтовъ. Къ этому можно прибавить, что впослѣдствіи найдены были и другія сходныя свойства свѣтлыхъ и темныхъ лучей. Всѣ они интерферируютъ и поляризуются подобно свѣтовымъ лучамъ.

Работы Меллони и другихъ изслѣдователей показали, такимъ образомъ, что между тепловыми лучами и свѣтовыми нѣтъ разницы по существу. Вмѣстѣ они образуютъ шкалу лучей, отличающихся другъ отъ друга тѣмъ, что при прохожденіи черезъ тѣла они преломляются въ различной степени и поглощаются въ различной мѣрѣ.

Такъ какъ со времени появленія составившихъ эпоху работъ Френеля (1818), принято считать, что свѣтовые лучи представляютъ собою волнообразное движеніе эѳира, то приходится принять поэтому то же допущеніе и для тепловыхъ лучей. Такимъ образомъ было установлено, что ни свѣтовые ни тепловые лучи не состоятъ изъ матеріальныхъ частицъ, испускаемыхъ источникомъ свѣта или тепла. Этимъ былъ нанесенъ сильный ударъ теоріи, предполагавшей, что теплота есть вещество; напротивъ, гипотеза Румфорда, что теплота есть видъ движенія, получила сильное подкрѣпленіе. Но прошло еще довольно много времени, прежде чѣмъ этотъ взглядъ сталъ общепризнаннымъ.

Теплопроводность

146. Если масса воды или воздуха не всюду имѣетъ одинаковую температуру, то, вообще говоря, вслѣдствіе этой разницы температуръ въ массѣ возникаютъ теченія, причемъ болѣе теплыя частицы подымаются вверхъ, а холодныя опускаются внизъ. Въ твердомъ тѣлѣ неравномѣрное нагрѣваніе не можетъ вызвать теченій, такъ какъ частицы связаны силой сцѣпленія, которая преодолѣвается лишь тогда, когда нагрѣваніе достигаетъ точки плавленія. Но если нѣкоторыя части твердаго тѣла имѣютъ болѣе высокую температуру, чѣмъ остальныя, то тепловое равновѣсіе въ этомъ тѣлѣ нарушается и теплота стремится уравнять разницу въ температурѣ, переходя изъ болѣе теплыхъ частей въ болѣе холодныя. Теплота въ этомъ случаѣ проводится отъ одной частицы къ другой и время, которое она употребляетъ, чтобы распро-

http://mathesis.ru

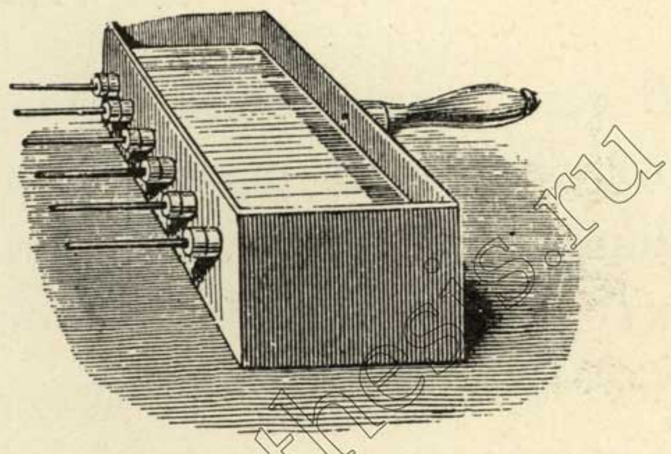
страниться въ тѣлѣ на разстояніе 1 *см*, зависитъ отъ природы тѣла и отъ разности температуръ на взятомъ разстояніи. Опытъ учитъ, что количество теплоты, распространяющееся въ тѣлѣ на разстояніе 1 *см* въ секунду, прямо пропорціонально разности температуръ. Если, напримѣръ, эта разность въ одномъ случаѣ составляетъ 3^0, а въ другомъ $1^1/_2{}^0$, то въ первомъ случаѣ распространяется двойное количество теплоты. Но различныя тѣла и при одинаковой разности температуръ проводятъ очень различныя количества тепла. Каждое тѣло обладаетъ опредѣленной теплопроводностью, измѣряемой количествомъ теплоты, проходящимъ въ данномъ тѣлѣ черезъ 1 *квсм* въ 1 секунду, если разность температуръ въ двухъ точкахъ этого тѣла, удаленныхъ другъ отъ друга на 1 *см*, равна 1^0 С.

Явленія теплопроводности въ общемъ такъ же извѣстны, какъ и явленія теплового излученія. Но подробности этого явленія могли быть объяснены лишь послѣ весьма тонкихъ изслѣдованій, сопряженныхъ съ большими трудностями.

147. Профессоръ Рихманнъ (род. въ 1711 году въ Перновѣ, ум. въ 1753 году въ Петербургѣ) полагалъ, что онъ сможетъ опредѣлить теплопроводность различныхъ металловъ, нагрѣвая шары одинаковой величины до одной и той же температуры и затѣмъ наблюдая, какой металлъ охладится быстрѣе всѣхъ. Онъ нашелъ, что свинецъ терялъ теплоту быстрѣе всего, вслѣдствіе чего и счелъ свинецъ наилучшимъ проводникомъ тепла. Легко, однако, видѣть, что опытъ Рихманна не можетъ привести къ опредѣленію теплопроводности. Во-первыхъ, охлажденіе обусловливается лучеиспусканіемъ, которое въ значительной степени зависитъ отъ свойствъ поверхности. Затѣмъ, металлическіе шары одинаковой величины и одинаково нагрѣтые содержатъ неравныя количества теплоты. Поэтому одинаковое охлажденіе свинцоваго шара и желѣзнаго ни въ какомъ случаѣ не соотвѣтствуетъ одинаковой потерѣ теплоты, такъ какъ теплоёмкость свинца и желѣза различны (ср. § 54).

Бенджаминъ Франклинъ предложилъ измѣрять теплопроводность металлическихъ стержней тою быстротой, съ какою теплота распространяется по нимъ и заставляетъ таять слой воска, которымъ покрытъ стержень. Голландецъ Янъ Ингенгусъ построилъ приборъ, при помощи котораго можно производить эти измѣренія. Приборъ состоитъ изъ жестяного ящика (рис. 131), который наполняютъ теплой водой или масломъ. Въ стѣнкѣ этого ящика сдѣланъ рядъ отверстій, въ которыя вставляются металлическіе стержни, покрытые слоемъ воска. Когда металлическіе стержни нагрѣваются, воскъ таетъ и Франклинъ считалъ, что, чѣмъ длиннѣе слой воска, растаявшій въ теченіе опредѣленнаго времени, тѣмъ лучше металлъ проводитъ теплоту.

Рис. 131



Приборъ Ингенгуса.

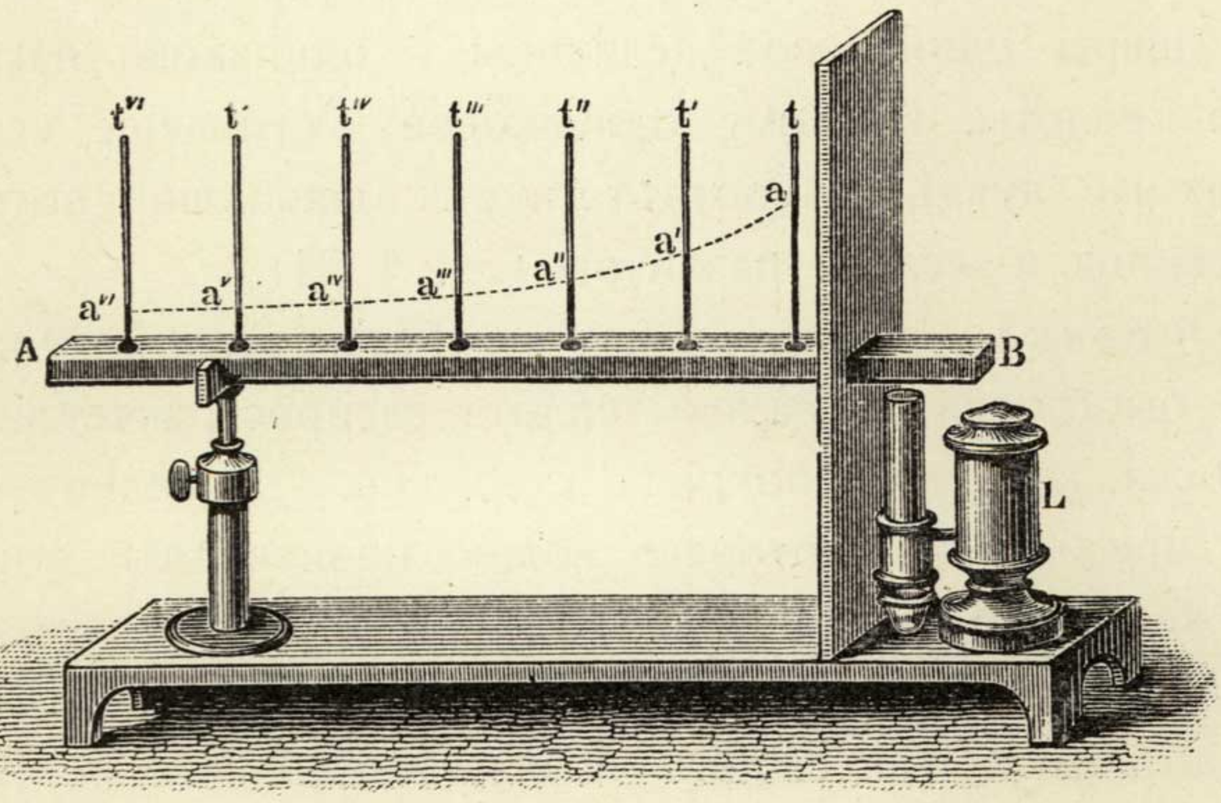
Этотъ способъ опредѣленія теплопроводности несомнѣнно лучше способа Рихманна, но и онъ слишкомъ далекъ отъ того, чтобы быть „чистымъ“. Онъ страдаетъ тѣмъ же недостаткомъ, что и опытъ Рихманна, т. е. тоже игнорируетъ лучеиспусканіе и теплоёмкость.

148. Выполненіе „чистаго“ опыта требуетъ большой предусмотрительности и искусства. Всѣ явленія, которыя наблюдаются при этомъ опытѣ, должны быть приняты въ соображеніе, прежде чѣмъ можно произвести опытъ съ соблюденіемъ всѣхъ необходимыхъ мѣръ предосторожности. Ламбертъ (ср. § 127) очень ясно изложилъ

въ своей статьѣ 1778 года все, что происходитъ въ желѣзномъ стержнѣ, нагрѣваемомъ съ одного конца. Онъ пишетъ: „Стержень нагрѣвается только на одномъ концѣ. Но теплота постепенно переходитъ въ самыя отдаленныя части стержня, а оттуда (путемъ лучеиспусканія и теплопроводности) въ воздухъ. Если пламя горѣло достаточно долго съ одинаковой силой, то каждая часть стержня пріобрѣтаетъ свою опредѣленную температуру, причемъ каждая часть получаетъ отъ прилегающихъ частицъ, лежащихъ ближе къ пламени, столько же теплоты, сколько отдаетъ болѣе отдаленнымъ частямъ и воздуху". Этотъ выводъ, разумѣется, не есть результатъ опыта, произведеннаго Ламбертомъ, а чисто логическое заключеніе. Стержень долженъ быть въ стаціонарномъ тепловомъ состояніи. Нагрѣваніе отдѣльныхъ частей возможно лишь до опредѣленной величины и, когда стаціонарное состояніе достигнуто, количество тепла, получаемое любой частью стержня, должно быть равно количеству тепла, которое эта часть за то же время отдаетъ сосѣднимъ частямъ и воздуху. Въ противномъ случаѣ ея температура повышалась бы или падала и состояніе, такимъ образомъ, не было бы стаціонарнымъ.

Опыты, выполненные самимъ Ламбертомъ, представляютъ мало интереса. Лишь 26 лѣтъ спустя, т. е. въ 1804 году, Жанъ Батистъ Біо (1774—1862) опубликовалъ статью, гдѣ сообщаетъ о цѣломъ рядѣ опытовъ, при помощи которыхъ онъ нашелъ, какъ распредѣляется теплота въ стержнѣ съ наступленіемъ стаціонарнаго состоянія. Приборъ, употреблявшійся для этихъ опытовъ, изображенъ на рис. 132.

Рис. 132



Измѣреніе теплопроводности по Біо.

AB есть изслѣдуемый металлическій стержень. Одинъ конецъ этого стержня нагрѣвался пламенемъ равномѣрно горящей лампы, между тѣмъ какъ остальная его часть защищалась отъ дѣйствія этого источника тепла экраномъ. Въ стержнѣ на одинаковыхъ разстояніяхъ были просверлены отверстія, которыя наполнялись небольшимъ количествомъ ртути; въ ртуть были погружены шарики чувствительныхъ термометровъ. По наступленіи стаціонарнаго состоянія отмѣчались температуры, указываемыя термометрами. Такимъ образомъ получена была, изображенная на рисункѣ „кривая температуръ", выражающая законъ, по которому убываетъ температура въ стержнѣ.

149. Сказанное относится ко всѣмъ металлическимъ стержнямъ, находящимся въ стаціонарномъ состояніи. Но если производить опытъ со стержнями изъ различныхъ

http://mathesis.ru

металловъ, то каждый металлъ даже при одинаковыхъ размѣрахъ стержней даетъ кривую другой формы.

Въ самомъ дѣлѣ, когда стержень находится въ стаціонарномъ состояніи, то вся теплота, доставляемая стержню источникомъ тепла, должна тратиться частью путемъ теплопроводности, частью лучеиспусканіемъ въ воздухъ. Если различнымъ металлическимъ стержнямъ придавать одну и ту же форму и серебрить ихъ поверхность, то всѣ они представятъ одинаковыя условія для внѣшней теплопроводности. Если, слѣдовательно, внутренняя теплопроводность различныхъ металловъ будетъ различная, то это должно обнаружиться тѣмъ, что разность температуръ на концахъ стержня будетъ больше или меньше смотря по тому, проводитъ ли металлъ теплоту лучше или хуже. Если представить себѣ, что термометры показываютъ для всѣхъ металловъ одну и ту же температуру, то, принимая во вниманіе, что внѣшняя теплопроводность одинакова для всѣхъ случаевъ, и внутренняя должна быть одна и та же, т. е. всѣ металлы должны были бы проводить теплоту одинаково хорошо.—Разница въ теплопроводности должна привести къ разницѣ въ показаніяхъ термометровъ и, разумѣется, плохой проводникъ проводитъ по стержню меньшее количество теплоты и даетъ болѣе низкія показанія термометра.

Болѣе подробное разсмотрѣніе опытовъ по теплопроводности невозможно безъ помощи математики. Но сказаннаго достаточно, чтобы признать, что путемъ стаціонарнаго состоянія можно сравнивать теплопроводность различныхъ металловъ.

Въ новѣйшихъ опытахъ по теплопроводности металловъ термометры были замѣнены значительно болѣе чувствительными термоэлектрическими элементами. Очень точныя измѣренія этого рода были произведены датскимъ физикомъ Л. Лоренцомъ (1829—1891).

Если положить теплопроводность серебра равной 100, то проводимость нѣкоторыхъ другихъ металловъ выразится слѣдующими числами:

мѣдь	74	желѣзо	12
золото	53	свинецъ	9
латунь	23	платина	9
цинкъ	19	висмутъ	2
олово	15		

Твердыя тѣла лучше проводятъ теплоту, чѣмъ жидкости и газы, а между твердыми тѣлами наилучшими проводниками тепла являются металлы. Отдѣльныя кристаллическія породы, какъ напримѣръ, горный хрусталь и каменная соль, проводятъ теплоту такъ же хорошо, какъ и свинецъ.—Дерево, солома, шелкъ, шерсть (вообще органическія вещества), стекло и фарфоръ принадлежатъ къ плохимъ проводникамъ тепла. Причина того, что стекло при нагрѣваніи легко лопается, заключается въ его плохой теплопроводности. При нагрѣваніи одной части стекла эта часть сильно расширяется, и такъ какъ теплота недостаточно быстро сообщается сосѣднимъ частямъ, то въ нагрѣтомъ мѣстѣ возникаетъ напряженіе, вслѣдствіе чего стекло изгибается и ломается.

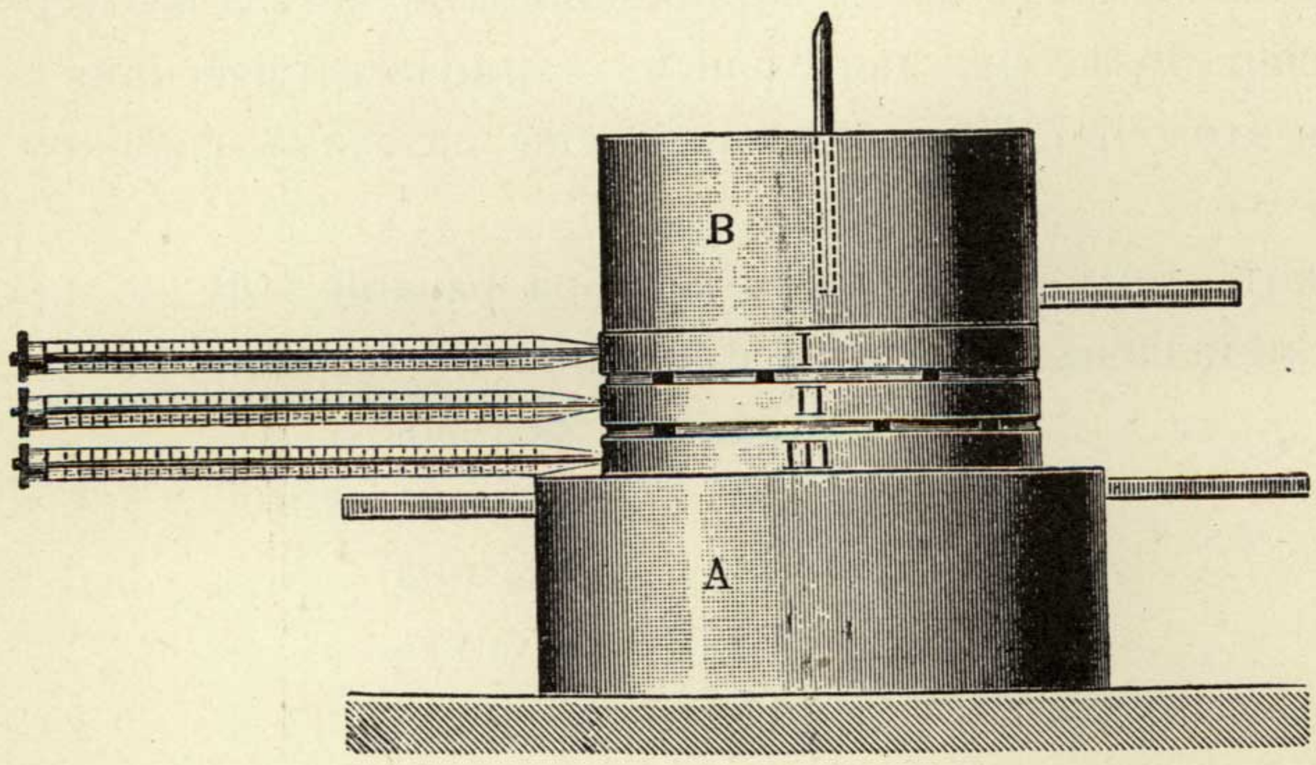
150. Профессоръ Христіансенъ въ Копенгагенѣ построилъ приборъ, служащій для сравненія между собою теплопроводностей различныхъ жидкостей. Сравненіе производится такъ же, какъ и въ способѣ Біо,—путемъ наблюденія стаціонарнаго состоянія.

http://mathesis.ru

Приборъ, служащій для этихъ опытовъ (рис. 133), состоитъ изъ трехъ мѣдныхъ пластинокъ I, II, III. Нижняя пластинка лежитъ на сосудѣ *A*, а на верхней стоитъ сосудъ *B*. Пластинки отдѣляются другъ отъ друга стеклянными столбиками и при томъ такъ, что средняя находится на одинаковомъ разстояніи отъ двухъ крайнихъ. Черезъ нижній сосудъ непрерывно протекаетъ холодная вода, а верхній нагрѣвается паромъ или теплой водой. Въ промежуткѣ между I и II пластинками находится, напримѣръ, вода, которая не вытекаетъ вслѣдствіе прилипанія къ металлическимъ пластинкамъ, а въ промежуткѣ между II и III пластинками находится жидкость, теплопроводность которой нужно сравнить съ теплопроводностью воды. Теплота переходитъ по мѣднымъ пластинкамъ и по слоямъ жидкости изъ верхняго сосуда въ нижній и спустя нѣкоторое время три мѣдныя пластинки пріобрѣтаютъ опредѣленную температуру. Какъ только послѣдняя становится постоянной, ее отмѣчаютъ по термометрамъ, вдѣланнымъ въ мѣдныя пластинки. Въ жидкостяхъ не возникаетъ теченій, такъ какъ наиболѣе теплыя части находятся наверху. Когда наступаетъ стаціонарное состояніе, средняя пластинка получаетъ отъ водяного слоя столько же тепла, сколько отдаетъ слою другой жидкости, если не теряетъ тепла въ окружающую среду, что̀ можно предотвратить, поддерживая температуру средней пластинки одинаковою съ температурой окружающей среды.

Теперь черезъ оба слоя жидкости проходитъ одинаковое количество тепла и, такъ какъ они одинаковой толщины и имѣютъ одинаковую поверхность, то теплопроводности жидкостей должны быть обратно пропорціональны разностямъ температуръ между I и II и между II и III пластинками, причемъ бо̀льшая разность температуръ соотвѣтствуетъ, разумѣется, меньшей теплопроводности.

Рис. 133



Измѣреніе теплопроводности жидкостей по Христіансену.

Примѣръ. Верхній слой состоитъ изъ воды, нижній изъ глицерина. Температура трехъ пластинокъ I, II, III соотвѣтственно 18^0, 15^0 (комнатная температура) и 10^0 С. Тогда теплопроводность воды относится къ теплопроводности глицерина, какъ $(15-10):(18-15)$ или какъ $5:3$. Теплопроводность глицерина составляетъ $^3/_5$ теплопроводности воды.

Всѣ жидкости, за исключеніемъ ртути, плохо проводятъ теплоту. Теплопроводность воды составляетъ приблизительно $^1/_{450}$ теплопроводности мѣди.

http://mathesis.ru

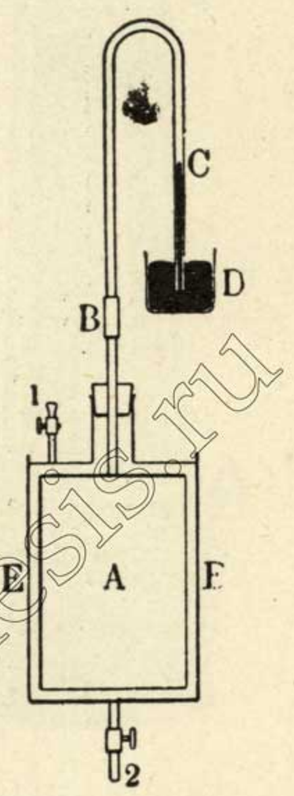
151. Еще хуже жидкостей проводятъ теплоту газы. Графъ Румфордъ былъ того мнѣнія, что жидкости вообще не проводятъ теплоты, такъ какъ ему не удалось обнаружить въ нихъ способность проводить теплоту. Еще труднѣе доказать способность газовъ проводить теплоту. Лишь въ 1860 году французскому физику Магнюсу удалось доказать, что водородъ проводитъ теплоту. Измѣреніе теплопроводности различныхъ газовъ было предпринято въ 1872 году Іозефомъ Стефаномъ, профессоромъ Вѣнскаго университета.

Его опыты производились при помощи прибора, изображеннаго на рис. 134. Металлическій цилиндръ *A* соединенъ трубкой *B* съ изогнутой стеклянной трубкой *C*, погруженной открытымъ концомъ въ ртуть. *ABCD* представляетъ, слѣдовательно, воздушный термометръ. Когда воздухъ въ *A* нагрѣвается, ртуть вытѣсняется изъ *C*, когда же *A* охлаждается, ртуть въ трубкѣ *C* подымается. Цилиндръ *A* окруженъ вторымъ цилиндромъ *EE*. При помощи кранов 1 и 2 изъ промежутка между двумя цилиндрами можно выкачивать воздухъ и наполнять промежутокъ, вмѣсто того, различными газами. Весь приборъ, т. е. оба цилиндра вмѣстѣ съ содержимымъ, нагрѣвается, затѣмъ цилиндръ *E* погруженіемъ въ воду со льдомъ охлаждается до 0°. Тогда теплота переходитъ изъ *A* въ *E*, воздухъ въ *A* охлаждается и ртуть въ трубкѣ *C* подымается вверхъ. Стефанъ убѣдился въ томъ, что излученіе тепла между *A* и *E* не производило сколько-нибудь замѣтнаго перехода теплоты и что, слѣдовательно, потеря теплоты цилиндромъ *A* обусловливалась только проводимостью тепла воздушнымъ слоемъ. По движенію ртути въ *C* можно было вычислить потерю тепла, а, значитъ, и величину теплопроводности. Оказалось, что атмосферный воздухъ проводитъ теплоту приблизительно въ 30 разъ хуже воды и въ 13500 разъ хуже мѣди.

Большинство газовъ обладаютъ такой же малой теплопроводностью, какъ и атмосферный воздухъ. Только водородъ проводитъ теплоту лучше, а именно, приблизительно въ 7 разъ лучше воздуха.

Теплопроводность не остается совершенно одинаковой при различныхъ температурахъ. Если, напримѣръ, поддерживать температуру одной изъ двухъ параллельныхъ боковыхъ сторонъ мѣднаго куба, съ ребромъ въ 1 *см*, равной 0°, а температуру другой стороны равной 1°, то въ теченіе 1 секунды отъ одной поверхности къ другой перейдетъ 0·7198 граммкалоріи. Если же температуры этихъ двухъ поверхностей будутъ 100° и 99°, то въ секунду переходитъ 0·7226 граммкалоріи. Такимъ образомъ, съ повышеніемъ температуры теплопроводность увеличивается. То же справедливо и для всѣхъ другихъ веществъ, которыя были изслѣдованы, какъ для твердыхъ, такъ и для жидкихъ и газообразныхъ.

Рис. 134



Измѣреніе теплопроводности газовъ по Стефану.

152. Плохой теплопроводностью различныхъ тѣлъ часто пользуются въ обыденной жизни. Желѣзные сосуды снабжаются деревянными ручками, чтобы не отнимать теплоты у рукъ или, когда сосуды нагрѣты, не обжигать ихъ. Дэви (§ 123) хорошо воспользовался теплопроводностью металловъ въ своей безопасной лампѣ. Дэви замѣтилъ, что пламя не проходитъ сквозь металлическую стѣнку, пока она не накалится (рис. 135). Если ввести такую сѣтку въ пламя, то послѣднее, такъ сказать, разрѣзывается сѣткой. Дымъ проходитъ

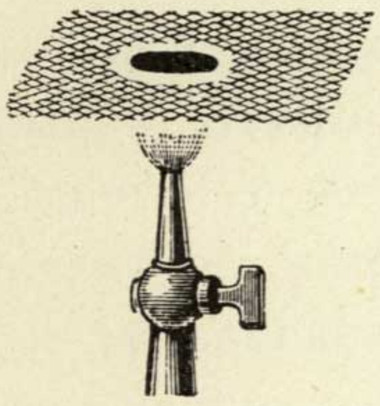
http://mathesis.ru

сквозь нее, а пламя не проходитъ. Именно, теплота пламени разсѣивается металломъ такъ быстро, что горючіе газы охлаждаются ниже температуры воспламененія и поэтому не горятъ по другую сторону сѣтки. Только тогда, когда пламя нагрѣло сѣтку уже до такой степени, что она раскалилась, горючіе газы загораются и поверхъ металлической сѣтки. Охлаждающее дѣйствіе сѣтки можетъ быть обнаружено также слѣдующимъ опытомъ. Если пропустить свѣтильный газъ сквозь металлическую сѣтку и зажечь его поверхъ нея (рис. 136), то пламя не переходитъ подъ нижнюю часть сѣтки.

Пламя, окруженное металлической сѣткой, можно безъ опасности вносить во взрывчатый газъ. Горючіе газы проникаютъ, правда, подъ сѣтку и сгораютъ тамъ, но это горѣніе не распространяется на газы, находящіеся внѣ металлической оболочки.

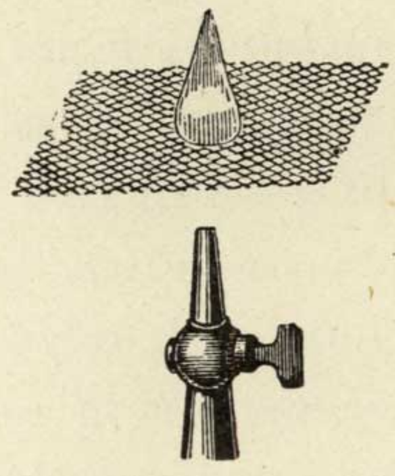
Дэви устроилъ безопасную лампу (рис. 137), чтобы дать рабочимъ въ шахтахъ средство защитить себя отъ опасностей взрыва. Въ каменноугольныхъ копяхъ иногда неожиданно выдѣляются большія количества горючихъ газовъ (рудничнаго

Рис. 135



Охлаждающее дѣйствіе металлической сѣтки.

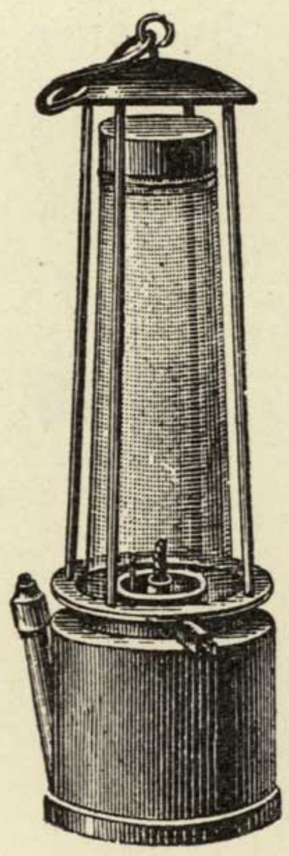
Рис. 136



Охлаждающее дѣйствіе металлической сѣтки.

газа), которыя въ соединеніи съ воздухомъ образуютъ взрывчатую смѣсь. Если эта смѣсь зажжется пламенемъ лампы въ копи, то произойдетъ ужасный взрывъ. Въ такихъ случаяхъ нерѣдко погибаетъ много рабочихъ. При употребленіи безопасной лампы можно замѣтить появленіе горючихъ газовъ, когда они сгораютъ внутри проволочной сѣтки, и рабочіе могутъ обезопасить себя раньше, чѣмъ послѣдуетъ взрывъ. Обыкновенно безопасная лампа гаснетъ при взрывѣ внутри проволочной сѣтки. Но, когда эти взрывы слабы, то лампа продолжаетъ горѣть и металлическая сѣтка накаляется, если своевременно не удалить лампу изъ опаснаго мѣста. —Стефенсонъ (§ 114), независимо отъ Дэви, изобрѣлъ подобную же безопасную лампу, которая представляла то преимущество, что она всегда гасла отъ взрыва и поэтому была совершенно безопасна. Въ новѣйшее время при работахъ въ шахтахъ пользуются вполнѣ безопасными электрическими лампочками накаливанія.

Рис. 137



Безопасная лампа Дэви.

153. Если желаютъ предохранить тѣло отъ потери теплоты вслѣдствіе теплопроводности, то его окружаютъ дурными проводниками тепла. Лучшей защитой отъ потери теплоты, какъ слѣдуетъ изъ предыдущаго, является неподвижный слой воздуха. Этого достигаютъ отчасти такимъ образомъ, что тѣло покрываютъ такими веществами, которыя имѣютъ множество наполненныхъ воздухомъ промежутковъ, каковы, напримѣръ, солома, мякина, опилки и шерсть, въ которыхъ воздухъ съ трудомъ

http://mathesis.ru

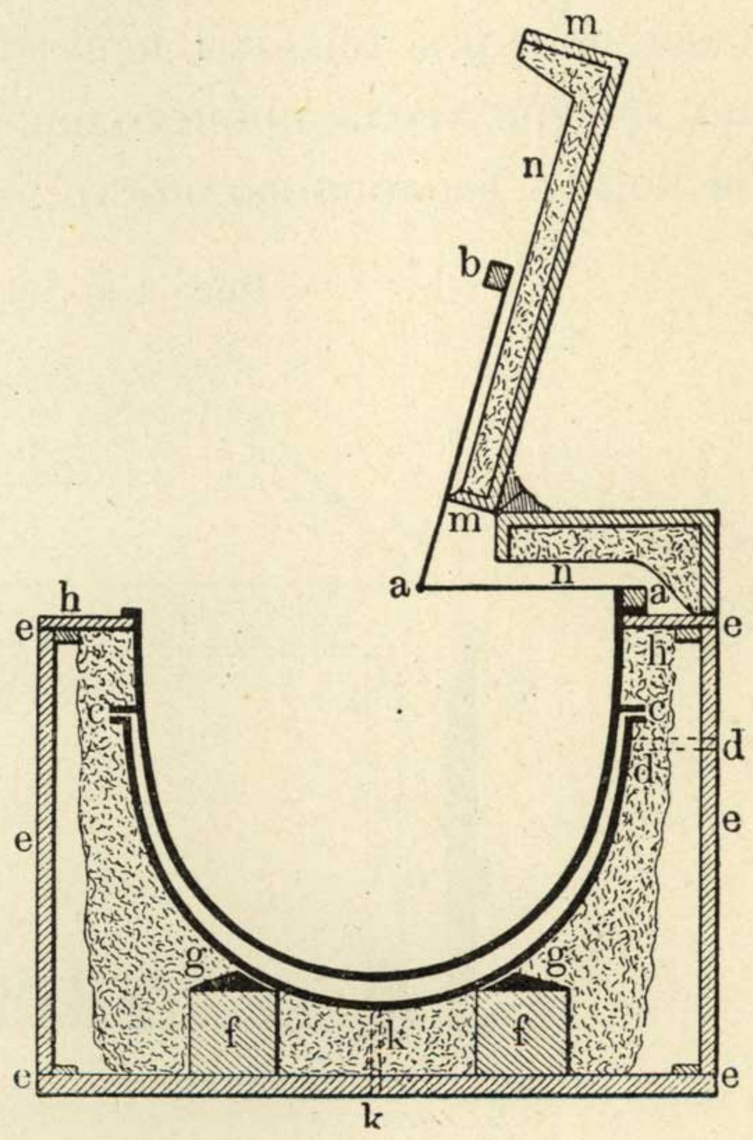
приходитъ въ движеніе, даже если онъ и нагрѣвается. Молодыя деревья и кусты обертываютъ соломой, чтобы воспрепятствовать проникновенію холоднаго воздуха, а люди одѣваются въ шерстяныя и тому подобныя ткани, чтобы теплота тѣла не отдавалась внѣшнему воздуху. Изъ платьевъ и покрывалъ наиболѣе „теплыя“ всегда именно тѣ, въ ткани которыхъ есть больше всего маленькихъ промежутковъ, наполненныхъ воздухомъ.

Черезъ окна съ одной рамой зимою теряется много тепла, между тѣмъ какъ при двойныхъ рамахъ потеря тепла очень незначительна. И въ данномъ случаѣ отъ потери тепла предохраняетъ слой воздуха, заключенный между обѣими рамами, такъ какъ воздухъ между ними съ трудомъ можетъ приходить въ движеніе. По той же причинѣ полыя стѣны „теплѣе“ массивныхъ.

Много лѣтъ тому назадъ Фьордъ (1825—1891) дѣлалъ опыты надъ „варкой въ сѣнѣ“, при которыхъ онъ пользовался дѣйствіемъ плохихъ проводниковъ. Предметъ, который варятъ, а именно, мясо, нагрѣваютъ въ водѣ до тѣхъ поръ, пока вода не закипитъ; затѣмъ сосудъ ставятъ въ ящикъ, выложенный соломой или ватой. Теплота сохраняется въ немъ въ теченіе нѣсколькихъ часовъ и за это время проникаетъ въ мясо. Здѣсь происходитъ, слѣдовательно, лишь постепенное прогрѣваніе, а не настоящая варка.

На высокихъ горахъ приходится варить въ Папиновыхъ котлахъ, такъ какъ въ открытыхъ сосудахъ вода кипитъ тамъ при слишкомъ низкой температурѣ.

Рис. 138



Паровой котелъ Фьорда.

Устройство котла, устроеннаго Фьордомъ для городской больницы въ Копенгагенѣ, изображено на рис. 138. Котелъ, вмѣщавшій 270 литровъ, представлялъ собою двойной эмалированный котелъ. Внѣшній котелъ привинчивался къ внутреннему въ *c*. Котелъ нагрѣвался паромъ, который вдувался въ промежутокъ между двумя котлами черезъ трубку *d*. Конденсировавшаяся вода стекала по трубкѣ *k* внизъ. Котелъ, снабженный двойной, плотно закрывающейся крышкой, стоялъ въ деревянномъ ящикѣ *ee* на четырехъ деревянныхъ подставкахъ *ff*. Котелъ былъ окруженъ ватой, которой была также наполнена крышка. Послѣ того какъ вода въ котлѣ нагрѣвалась до кипѣнія, доступъ пара прекращался и крышка закрывалась, когда кипѣніе прекращалось, но вода еще имѣла температуру въ 100°.

Какъ медленно шло затѣмъ охлажденіе, видно изъ слѣдующей таблицы. Когда крышка котла опускалась, вода имѣла температуру въ 100° С. Спустя

½ часа	100°	4 часа	98·1°
1 „	99·7°	10 „	94·1°
2 „	99·4°	14 „	92·2°
3 „	98·9°	19 „	89·7°

Итакъ, въ теченіе 18 часовъ температура была выше 90°, а въ теченіе пер-

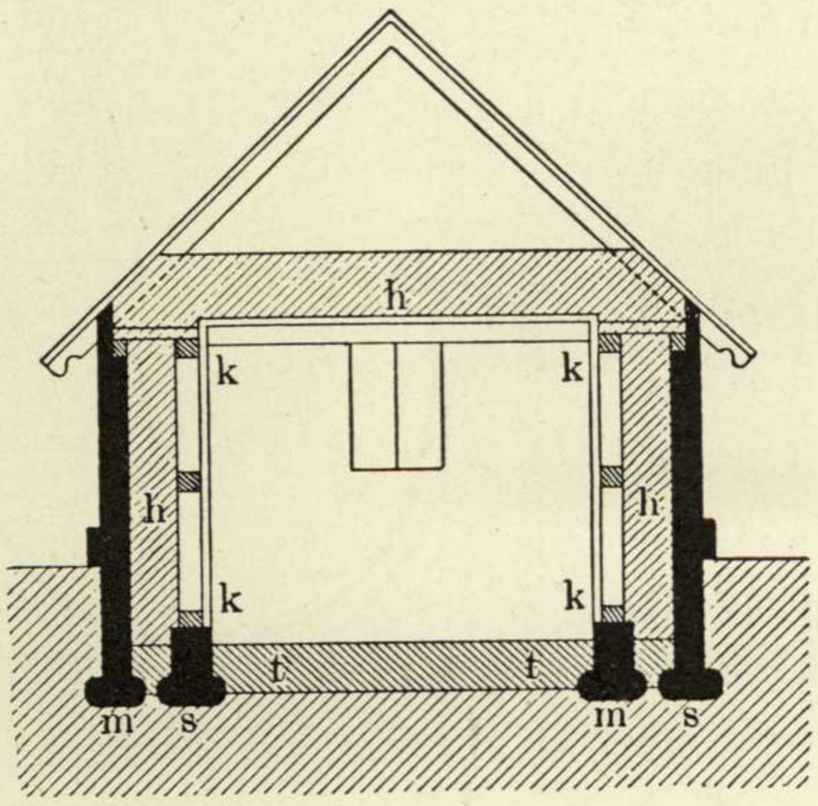
http://mathesis.ru

выхъ 3 часовъ ея измѣненія не превышали тѣхъ, которыя испытываетъ сама точка кипѣнія вслѣдствіе измѣненія высоты барометра.

154. Въ связи съ опытомъ Фьорда надъ „варкой въ сѣнѣ“ слѣдуетъ упомянуть и объ его опытахъ надъ сохраненіемъ льда. Онъ рекомендуетъ для этой цѣли ледникъ, устройство котораго изображено на рис. 139 и 140. Внѣшняя стѣнка *ms* и параллельный ей цоколь *ms*, высотой въ 1 *м*, построены изъ обыкновеннаго строительнаго камня. На цоколѣ находится деревянный ящикъ *kk*, въ которомъ собственно и помѣщается ледъ. Полъ этого помѣщенія для льда состоитъ изъ слоя торфа въ метръ толщиной, который легко впитываетъ и отдаетъ воду, образовавшуюся при таяніи, и который вслѣдствіе своей плохой теплопроводности задерживаетъ теплоту земли. По бокамъ и сверху ледникъ покрытъ слоемъ рѣзки. Ледникъ запирается наглухо такъ, чтобы въ немъ не могли возникать теченія воздуха, а дверь должна быть двойной и должна плотно закрываться.

155. Наблюденія надъ температурой въ шахтахъ и буровыхъ скважинахъ въ результатѣ дали, что температура земли по мѣрѣ углубленія увеличивается приблизительно на 1^0 C на каждые 30 *м* углубленія. Слѣдствіемъ этого долженъ быть постоянный притокъ теплоты изнутри земли къ ея поверхности. Можно вычислить величину потери тепла, происходящей этимъ путемъ, если извѣстна теплопроводность земной коры. Теплопроводность эта не превосходитъ 0·01, т. е. черезъ кубъ такой же

Рис. 139



Ледникъ Фьорда.

Рис. 140

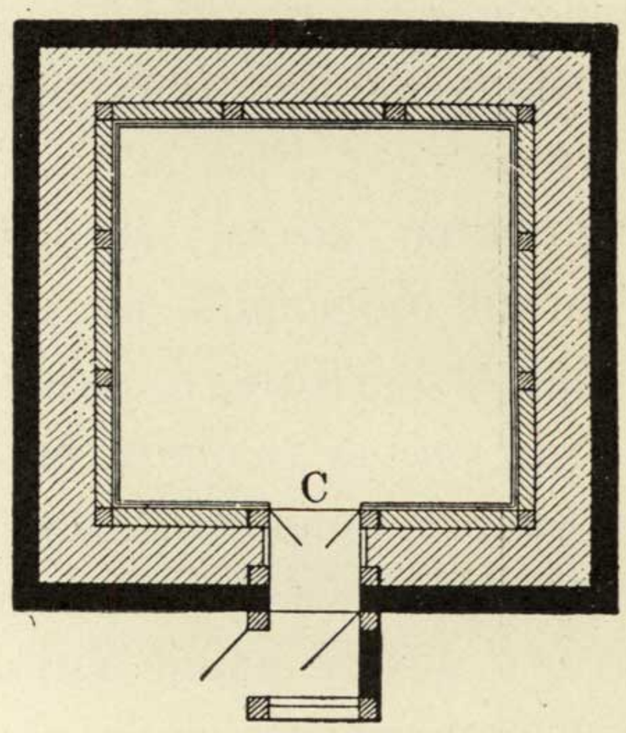


Рис. 139 въ разрѣзѣ.

теплопроводности, какъ земля, съ ребромъ въ 1 *см* проходитъ съ одной боковой поверхности на противолежащую въ 1 секунду 0·01 граммкалоріи, если разность ихъ температуръ составляетъ 1^0. Черезъ столбъ земли въ 1 *квсм* сѣченіемъ и въ 30 *м* высотой проходитъ въ 1 минуту $\frac{0{\cdot}01 \times 60}{3000} = 0{\cdot}0002$ граммкалоріи, если температура на длину всего столба повышается на 1^0. Въ теченіе года къ поверхности земли изнутри притекаетъ, слѣдовательно, около 105 граммкалорій. Такъ какъ средняя температура земной поверхности не измѣняется, то полученная изнутри земли теплота теряется, и является вопросъ, не охладится ли въ силу этого земля черезъ опредѣленное время. Чтобы произвести это вычисленіе, нужно помнить, что на каждый квадратный сантиметръ земной поверхности приходится 210000000 *кбсм* ея объема. На этотъ объемъ

http://matnesis.ru

и распредѣляется потеря въ 105 граммкалорій. На каждый кубическій сантиметръ приходится ежегодная потеря въ $^1/_{2\,000\,000}$ граммкалоріи. 1 *кбсм* земли вѣситъ въ среднемъ 5 *г* и если считать теплоёмкость земли равной 0·1, что̀ слишкомъ мало, то 1 *кбсм* при охлажденіи на 1^0 теряетъ $^1/_2$ граммкалоріи. Чтобы потерять это количество тепла, землѣ потребовалось бы $0{\cdot}5 : {}^1/_{2\,000\,000} = 1\,000\,000$ лѣтъ. На самомъ дѣлѣ при этомъ вычисленіи потеря теплоты была принята слишкомъ большой, такъ что можно сказать, что земля вслѣдствіе теплопроводности изнутри къ поверхности охлаждается на 1^0 C въ теченіе нѣсколькихъ милліоновъ лѣтъ.

Природа теплоты

Круговой процессъ Карно

156. Паровая машина Ватта оказала значительное вліяніе не только на развитіе техники, но и на теоретическое ученіе о теплотѣ. Обширное примѣненіе паровой машины должно было естественно привести къ болѣе подробному изученію связи между теплотой и работой, такъ какъ паровая машина производитъ работу благодаря теплотѣ. Извѣстно было также, что теплота вызываетъ мощныя теченія воздуха и воды на земной поверхности. Далѣе, знали, что воздухъ нагрѣвается при сжатіи, что на это затрачивается работа и что воздухъ при расширеніи, т. е. когда онъ производитъ работу, охлаждается. Такимъ образомъ, разнообразныя обстоятельства побуждали къ болѣе глубокому размышленію надъ сущностью работы, производимой при помощи теплоты.

Замѣчательно, что ни одинъ изъ великихъ изслѣдователей первой четверти XIX столѣтія не занялся этимъ вопросомъ. Можно думать, что многочисленныя примѣненія тепловой машины какъ бы отвлекли вниманіе ученыхъ отъ этого важнаго вопроса. Какъ это часто бывало и до и послѣ этого случая—этотъ вопросъ получилъ разрѣшеніе благодаря не преемственному научному изслѣдованію, а непосредственно, путемъ геніальнаго проникновенія въ повседневныя явленія.

157. Молодой французскій военный инженеръ Сади Карно (1776—1832) опубликовалъ въ 1824 году статью „О движущей силѣ огня“. Исходя изъ общеизвѣстныхъ опытовъ, онъ старался объяснить, при какихъ условіяхъ можетъ быть произведена механическая работа съ помощью теплоты.

Карно указываетъ сначала на то, что всякая работа, произведенная теплотой, сопровождается переходомъ тепла изъ болѣе теплаго тѣла въ болѣе холодное, что, слѣдовательно, при этомъ должна существовать извѣстная разница температуръ, при которой только и возможенъ этотъ переходъ. Но разность температуръ двухъ тѣлъ можетъ быть обусловлена какъ нагрѣваніемъ, такъ и охлажденіемъ. Нѣтъ, слѣдовательно, никакихъ препятствій къ тому, чтобы строить „холодныя“ машины, подобно „тепловымъ машинамъ“. И тѣ и другія были бы основаны на одномъ и томъ же принципѣ, а именно на принципѣ перевода тепла. Въ паровой машинѣ съ конденсаторомъ для полученія разности температуръ мы пользуемся какъ теплотой (въ котлѣ), такъ и холодомъ (въ конденсаторѣ). Какъ только эта разность установилась, можно при всякихъ обстоятельствахъ получить работу. Устраненіе разности температуръ всегда имѣетъ слѣдствіемъ расширеніе и сжатіе тѣлъ—нагрѣваемыхъ или охлаждаемыхъ, безразлично —будутъ ли эти тѣла твердыя, жидкія или газообразныя. Измѣненіе же объема тѣла

http://mathesis.ru

всегда можетъ быть, при помощи подходящихъ средствъ, переведено въ работу такъ же, какъ и объемъ тѣла можетъ быть измѣненъ путемъ затраты работы. Въ „тепловыхъ машинахъ“ находятъ примѣненіе газообразныя тѣла, такъ какъ при нагрѣваніи они расширяются сильнѣе, чѣмъ твердыя и жидкія тѣла (ср. § 14). Но здѣсь возникаетъ вопросъ, зависитъ ли работа, полученная при „паденіи“ температуры опредѣленнаго количества тепла на извѣстное число градусовъ, отъ вещества того тѣла, чрезъ которое теплота отъ мѣста съ болѣе высокой температурой приводится къ болѣе низкой, или же она имѣетъ всегда постоянную величину.

Чтобы выяснить этотъ вопросъ, Карно представилъ себѣ, что изъ парового котла, нагрѣтаго до 200°, извѣстный объемъ пара выпускаютъ въ цилиндръ, въ которомъ паръ расширяется безъ притока теплоты извнѣ и при этомъ совершаетъ извѣстную работу A, охлаждаясь въ то же время до 150°. Затѣмъ этотъ паръ вытѣсняется въ другой котелъ, температура котораго равна 150°, и сжимается въ немъ до прежняго объема. Для этого требуется работа B, которая меньше, чѣмъ A, такъ какъ сжатіе происходитъ при 150°, расширеніе же происходило при 200°, т. е. при болѣе высокомъ давленіи пара. Итакъ, при помощи этого процесса выигрывается работа $A—B$ и изъ котла съ температурой въ 200° въ котелъ съ температурой въ 150° переходитъ опредѣленное количество тепла V. Если произвести этотъ процессъ въ обратномъ порядкѣ, т. е. взять тотъ же объемъ пара изъ котла съ температурой въ 150°, сжать его настолько, чтобы температура сдѣлалась равной 200°, и затѣмъ помѣстить его въ котелъ, въ которомъ температура 200°, то на это пришлось бы затратить работу; именно ту работу, которая необходима, чтобы то же количество тепла V довести съ температуры въ150° до 200°. Для этого, очевидно, нужно затратить то же количество работы, которое раньше было пріобрѣтено, при томъ условіи, конечно, что теплота не терялась въ окружающую среду. При этомъ слѣдуетъ принять во вниманіе, что по мнѣнію Карно паръ при 150° содержитъ то же количество тепла, что и паръ при 200°. Теплота по его взглядамъ была особымъ веществомъ, которое не можетъ самопроизвольно исчезать или становиться больше.

Рис. 141



Сади Карно.

Еслибы существовало другое вещество, которое при переводѣ того же количества теплоты производило бы бо̀льшую работу, чѣмъ водяной паръ при пониженіи температуры отъ 200° до 150°, то обратнымъ переводомъ теплоты при посредствѣ водяного пара удалось бы получить въ чистомъ выигрышѣ работу. Можно было бы, слѣдовательно, получить Perpetuum mobile. Это Карно считалъ невозможнымъ и потому онъ заключилъ, что всякое вещество при переходѣ теплоты отъ болѣе высокой къ болѣе низкой температурѣ можетъ производить одну и ту же работу.

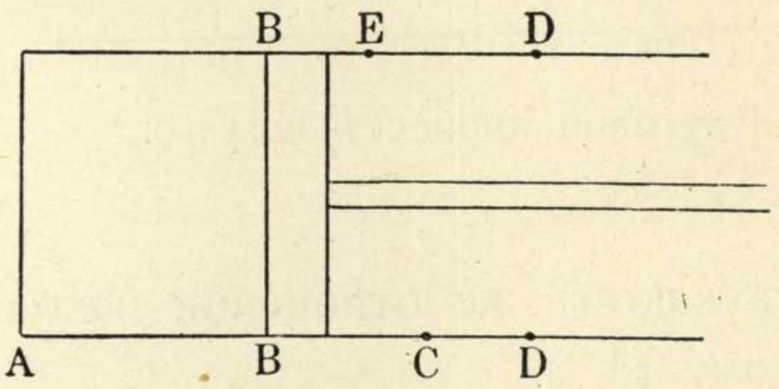
http://mathesis.ru

Карно выражаетъ свое представленіе о дѣйствіи теплоты такимъ образомъ, что теплота производитъ работу подобно водопаду: величина работы опредѣляется „паденіемъ“ теплоты отъ болѣе высокой къ болѣе низкой температурѣ точно такъ же, какъ работа воды опредѣляется высотой паденія. Однако, онъ обращаетъ вниманіе на то, что нельзя сдѣлать непосредственное заключеніе, будто вдвое бо̀льшая разница температуръ производитъ вдвое бо̀льшую работу.

158. Карно мысленно воспроизвелъ опытъ, такъ называемый круговой процессъ или циклъ Карно, при помощи котораго можно установить, какъ велика работа, которую данное количество теплоты вообще въ состояніи произвести при данныхъ условіяхъ. Изъ практическихъ соображеній мы приводимъ здѣсь не оригинальное изложеніе Карно, а обработку, сдѣланную Клапейрономъ (1799—1864) въ 1834 году, спустя два года послѣ смерти Карно.

Въ цилиндрѣ (рис. 142) позади поршня находится опредѣленное количество воздуха извѣстной температуры ($t_1{}^0$) и подъ извѣстнымъ давленіемъ. Послѣднее значительно больше атмосфернаго давленія. Сжатый воздухъ гонитъ поршень впередъ, пока давленіе на стержень поршня меньше давленія заключеннаго въ цилиндрѣ воздуха. При этомъ расширеніи воздухъ долженъ былъ бы охладиться (ср. § 156), но пусть ему будетъ обезпеченъ притокъ теплоты, достаточный для поддержанія температуры неизмѣнной. Въ то время какъ поршень при такихъ условіяхъ будетъ двигаться отъ *B* до *C*, давленіе воздуха въ цилиндрѣ по закону Бойля будетъ уменьшаться, вмѣстѣ съ тѣмъ и давленіе на поршень нужно представлять себѣ соотвѣтственно уменьшающимся такимъ образомъ, что давленіе на внутреннюю сторону поршня остается нѣсколько бо̀льшимъ, чѣмъ внѣшнее. На пути отъ *B* къ *C* воздухъ пріобрѣтаетъ опредѣленное количество тепла (V_1) и производитъ при этомъ извѣстную работу (A_1). Величина этой послѣдней можетъ быть представлена извѣстной площадью (ср. § 99). Пусть *Om* (рис. 143) представляетъ объемъ воздуха, производящаго работу, въ положеніи *B* (рис. 142), а *Mm* величину его давленія. Когда поршень приходитъ въ *C*, объемъ становится больше, а давленіе уменьшается. Первое теперь будетъ представлено чрезъ *On*, а второе чрезъ *Nn*, и величина работы A_1 очевидно будетъ опредѣлена величиной площади *mMNn*. Затѣмъ поршень передвигается изъ *C* въ *D*, притомъ подъ дѣйствіемъ только расширенія воздуха и безъ новаго притока теплоты. Вслѣдствіе этого воздухъ охлаждается (отъ $t_1{}^0$ до $t_2{}^0$). Во время этого движенія воздухъ также производитъ нѣкоторую работу A_2, величина которой опредѣляется площадью *nNPp*. Въ самомъ дѣлѣ, объемъ становится больше на *np*, а давленіе уменьшается съ *Nn* на *Pp*.

Рис. 142



Круговой процессъ Карно.

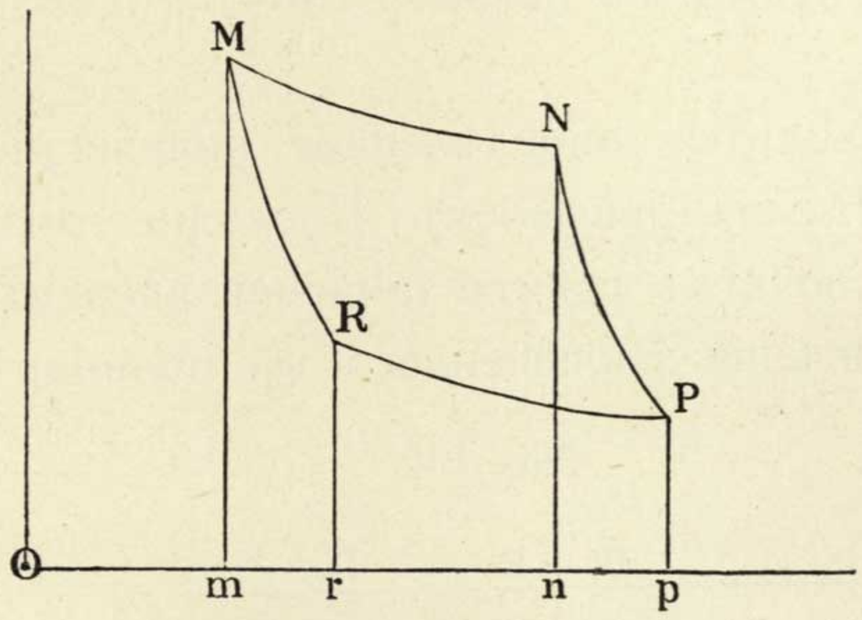
Вышеизложеннымъ описывается первая половина кругового процесса, въ теченіе котоpой воздухъ пріобрѣлъ количество теплоты V_1 и произвелъ двѣ работы A_1 и A_2, которыя вмѣстѣ изображаются площадью *mMNPp*. Вторая часть процесса начинается съ того, что съ увеличеніемъ давленія на поршень онъ вгоняется обратно до *E*, причемъ, слѣдовательно, воздухъ сжимается. Послѣдній долженъ былъ бы поэтому нагрѣваться, но представимъ себѣ, что онъ отдаетъ какъ разъ столько тепла (V_2),

http://mathesis.ru

что его температура остается неизмѣнной ($t_2{}^0$). На этомъ пути, отъ D до E, отдѣленному въ цилиндрѣ воздуху передается работа A_3, причемъ онъ отдаетъ количество тепла V_2. Въ графическомъ изображеніи это движеніе выражается уменьшеніемъ объема на pr и повышеніемъ давленія съ Pp на Rr, сообщенная же работа (A_3) дается величиной площади $pPRr$.

Наконецъ круговой процессъ заканчивается тѣмъ, что поршень подвигается отъ E къ B. Вслѣдствіе этого воздухъ нагрѣвается, причемъ положеніе E выбрано такъ, что воздухъ при сжатіи отъ E до B приходитъ къ точно такой же температурѣ и къ тому же давленію, которыя онъ имѣлъ въ началѣ кругового процесса. Объемъ воздуха теперь снова Om (рис. 143), а давленіе mM и воздуху снова сообщается работа, выражаемая величиной площади $rRMm$.

Рис. 143



Круговой процессъ Карно.

Воздухъ подъ поршнемъ въ теченіе кругового процесса пріобрѣтаетъ теплоту и отдаетъ ее. Въ то же время онъ и производитъ работу и на него тратится работа.

Работа, произведенная поршнемъ, равна площади $mMNPp$, затраченная $pPRMm$, такъ что при этомъ выиграно работы $MNPR$.

Въ какомъ же отношеніи находится полученное количество тепла (V_1) къ затраченному (V_2)?

Карно былъ того мнѣнія, что оба эти количества тепла совершенно равны. Какъ сказано, онъ считалъ теплоту веществомъ, и такъ какъ, по его допущенію, цилиндру и поршню теплота не сообщалась, а отдѣленный объемъ воздуха въ концѣ процесса имѣлъ то же количество тепла, что и въ началѣ, то оба количества тепла должны были быть одинаковыми. Единственная разница заключалась въ томъ, что теплота „падала“ въ отношеніи температуры, т. е. сообщенная теплота доставлялась пару при высокой температурѣ, а возвращалась имъ при низкой. Если это примѣнить къ паровой машинѣ, снабженной конденсаторомъ, то это означаетъ, что паръ доставляетъ конденсатору то же количество тепла, которое онъ содержитъ при переходѣ изъ котла въ цилиндръ (если не происходитъ потери путемъ теплопроводности и излученія).

„Этотъ фактъ“ (что затраченное и пріобрѣтенное количество тепла въ точности равны другъ другу), говоритъ Карно въ своей статьѣ 1824 года, „никогда не вызывалъ сомнѣній ... Если онъ будетъ опровергнутъ, то тѣмъ самымъ разрушится и вся теорія тепла“.

Однако, впослѣдствіи Карно пришелъ къ другому взгляду. Но это стало извѣстно лишь тогда, когда его братъ Ипполитъ Карно издалъ въ 1878 оставленныя имъ неоконченныя работы (ср. § 176).

159. Но еслибы Карно и сохранилъ свои первоначальные взгляды, онъ тѣмъ не менѣе принадлежалъ бы къ основателямъ современной теоріи тепла, такъ какъ онъ ясно и опредѣленно высказалъ ту мысль, что между теплотой и механической работой существуетъ опредѣленная связь, независимая ни отъ вещества, содержащаго

http://mathesis.ru

теплоту, ни отъ другихъ обстоятельствъ. Очевидно, что описанный круговой процессъ можно обратить и что для перехода того же количества тепла отъ болѣе низкой къ болѣе высокой температурѣ затратится такое же количество работы, какое до того было пріобрѣтено. Болѣе выгодный процессъ полученія работы при помощи теплоты немыслимъ, такъ какъ это должно было бы привести къ Perpetuum mobile (ср. § 156).

160. Великія открытія въ области естествознанія далеко не всегда происходятъ такимъ образомъ, что одинъ изслѣдователь непосредственно продолжаетъ работу другого. Цѣль достигается иногда удивительными обходными путями. Изслѣдованіе развивается такимъ путемъ, что въ немъ принимаютъ участіе не только отдѣльные избранники, но оно передается цѣлому поколѣнію. Уже исходя изъ этого положенія вопроса, отдѣльные изслѣдователи бываютъ въ состояніи найти ту точку зрѣнія, съ которой видно единство въ многообразіи, при которой, слѣдовательно, дѣлается открытіе.

Такъ было и съ вопросомъ о природѣ теплоты. Приблизительно въ одно и то же время и независимо одинъ отъ другого различные изслѣдователи нашли одно и то же рѣшеніе; и при этомъ ими руководили не опыты Румфорда и Дэви, не признанная уже связь между свѣтовыми и тепловыми лучами и даже не работы Карно. Каждый изъ нихъ пришелъ къ цѣли своимъ собственнымъ путемъ.

Робертъ Майеръ

161. Въ 1840 г. молодой Юліусъ Робертъ Майеръ отправился въ качествѣ корабельнаго врача на голландскомъ трехмачтовомъ суднѣ въ путешествіе въ Остъ-Индію. „Хорошія стороны этого путешествія“, пишетъ онъ по этому поводу одному другу, „значительно превышаютъ дурныя: для меня много значитъ очень интересное морское путешествіе, возможность видѣть много странъ, острововъ и народовъ, немалозначительный, быть можетъ, заработокъ, но больше всего то, что теперь мнѣ не приходится играть въ моемъ отечествѣ незамѣтную роль въ качествѣ начинающаго лѣкаришки, а также и то, что я имѣю случай наблюдать съ всевозможныхъ точекъ зрѣнія человѣческую природу какъ въ здоровомъ, такъ и въ больномъ состояніи, равно какъ и природу вообще“.

Нѣсколько дней спустя послѣ прибытія судна въ Батавію многіе изъ команды заболѣли острымъ воспаленіемъ легкихъ и Майеръ пустилъ многимъ изъ нихъ кровь. Его очень поразило при этомъ то, что кровь въ ручной венѣ была яркокраснаго цвѣта, такъ что онъ подумалъ даже, что порѣзалъ артерію. Онъ поговорилъ объ этомъ съ тамошними нѣмецкими врачами и тѣ ему объяснили, что въ тропическихъ странахъ венозная кровь имѣетъ необычайно яркій цвѣтъ. Для Майера это явленіе было новымъ и оно сильно его заинтересовало. Онъ постоянно размышлялъ объ этомъ и вотъ что писалъ по этому поводу.

162. „Исходя изъ теоріи Лавуазье, по которой животная теплота является результатомъ процесса горѣнія, я разсматривалъ двойное измѣненіе цвѣта, которое кровь испытываетъ въ капиллярахъ большого и малаго круга кровообращенія, какъ чувственно воспринимаемый знакъ, какъ видимое отраженіе процесса окисленія, происходящаго въ крови. Для поддержанія равномѣрной температуры человѣческаго тѣла

http://mathesis.ru

развитіе тепла въ немъ должно находиться въ извѣстномъ количественномъ соотвѣтствіи съ потерей тепла, слѣдовательно, и съ температурой окружающей среды; поэтому развитіе теплоты и процессъ окисленія, а также разница въ окраскѣ обоихъ видовъ крови въ общемъ должны быть меньше въ теплыхъ странахъ, чѣмъ въ холодныхъ".

Его основной мыслью была, слѣдовательно, та, что въ тропическихъ странахъ, гдѣ температура воздуха высока, окисленіе крови происходитъ менѣе интенсивно, такъ какъ тѣло не нуждается въ значительномъ развитіи тепла,—потеря тепла въ окружающую среду здѣсь меньше, чѣмъ въ умѣренныхъ и холодныхъ странахъ.

Въ тѣсной связи съ этой основной мыслью находится, очевидно, положеніе, что количество всей теплоты, которую тѣло отдаетъ вовнѣ, должно быть такъ же велико, какъ и то, которое развивается въ тѣлѣ путемъ сгоранія, такъ какъ температура тѣла остается неизмѣнной.

„Но развитіе тепла", продолжаетъ далѣе Майеръ, „происходитъ двоякимъ образомъ: тѣло животнаго отчасти развиваетъ теплоту непосредственно внутри себя и теряетъ ее въ окружающую среду, отчасти также, благодаря своему двигательному аппарату, обладаетъ способностью развивать теплоту даже въ самыхъ отдаленныхъ частяхъ тѣла механически путемъ тренія и т. п. Необходимо знать, слѣдуетъ ли отнести насчетъ процесса сгоранія одну только непосредственно развиваемую теплоту или же сумму количествъ тепла, полученныхъ прямымъ и косвеннымъ путемъ". Майеръ отвѣчаетъ на этотъ вопросъ, „что вся теплота, развитая организмомъ отчасти непосредственно, отчасти механическимъ путемъ, количественно соотвѣтствуетъ или равна теплотѣ горѣнія и что поэтому теплота, развиваемая живымъ организмомъ, должна находиться въ неизмѣнномъ количественномъ отношеніи къ затраченной на это работѣ".

Это положеніе имѣло сначала лишь теоретическую цѣнность. Чтобы оно могло получить значеніе и для другихъ, кромѣ Майера, его слѣдовало подтвердить опытами. Соотношенія, изъ которыхъ онъ выводилъ свои заключенія, были отчасти очень сложны, отчасти мало извѣстны и онъ самъ понималъ, что для полной достовѣрности здѣсь необходимы физическія изслѣдованія. Но въ области физики Майеръ не легко могъ оріентироваться, такъ какъ ему не доставало необходимыхъ спеціальныхъ познаній.

163. Майеръ родился въ 1814 году въ Гейльброннѣ, гдѣ его отецъ былъ аптекаремъ. Въ домѣ своихъ родителей онъ имѣлъ случай читать книги естественнонаучнаго содержанія и заниматься физическими и химическими опытами. Особенно онъ интересовался механическими приборами и ему хотѣлось, какъ и многимъ мальчикамъ до и послѣ него, получить свое Perpetuum mobile. Ясное сознаніе невозможности построить подобный приборъ, какъ онъ впослѣдствіи передавалъ, произвело на него глубокое и продолжительное впечатлѣніе. — Въ школѣ Майеръ не выдѣлялся. Его обучали собственно только мертвымъ языкамъ и классическая поэзія сильно привлекала поэтическую сторону его натуры. Но къ грамматикѣ и къ многочисленнымъ упражненіямъ въ сочиненіи безошибочныхъ и изящныхъ латинскихъ фразъ онъ не чувствовалъ никакого интереса. 18 лѣтъ онъ отправился въ Тюбингенскій университетъ изучать медицину. Онъ занимался съ большимъ увлеченіемъ, причемъ принималъ дѣятельное участіе и въ студенческой жизни. Онъ основалъ новый

http://mathesis.ru

студенческій союзъ, который вскорѣ прекратилъ свое оффиціальное существованіе, чтобы избѣжать преслѣдованій Союзнаго Совѣта. Но союзъ продолжалъ существовать тайно и, когда это открылось, Майеру пришлось покинуть Тюбингенъ. Непродолжительное время онъ учился въ Мюнхенѣ и въ Вѣнѣ, но вскорѣ получилъ разрѣшеніе вернуться въ Тюбингенъ, гдѣ въ 1838 году и кончилъ докторомъ медицины.

Еще до окончанія курса онъ по совѣту отца рѣшилъ поступить судовымъ врачомъ на голландскую службу. До поступленія на службу онъ прожилъ нѣкоторое время въ Парижѣ, что̀ имѣло большое значеніе для его позднѣйшихъ работъ. Именно, онъ встрѣтился здѣсь съ нѣсколькими товарищами по университету, между прочимъ съ Карломъ Бауромъ, впослѣдствіи профессоромъ математики и механики въ Штуттгартѣ, а также съ знаменитымъ врачомъ Вильгельмомъ Гризингеромъ. Съ послѣднимъ онъ по своемъ возвращеніи домой вступилъ въ переписку по поводу своихъ мыслей о связи между теплотой и работой.

164. Какъ было уже сказано, Майеръ понялъ, что доказательство правильности его заключеній можетъ быть добыто только средствами физики. Онъ принялся поэтому за основательное изученіе физики и химіи. Изучая послѣднюю, онъ былъ пораженъ, когда замѣтилъ, какъ прочно было убѣжденіе относительно существованія опредѣленной причинной связи между „исчезающими“ и „образующимися“ веществами. Въ физикѣ, напротивъ, эта „красная нить“ терялась въ тысячѣ мѣстахъ,—то попадалась причина безъ слѣдствія, то слѣдствіе безъ причины. „Издавна принято допускать, что движеніе прекращается при треніи и т. д. Что при этомъ появляется теплота, знаетъ всякій школьникъ; наука ограничивается самимъ фактомъ и съ смиреніемъ устанавливаетъ аксіому, что теплота при треніи необъяснима“. Можно придти къ значительно болѣе естественному выводу, допустивъ, что, если движеніе не превращается въ ничто и если теплота не можетъ возникнуть изъ ничего, то количество тепла, развиваемое при треніи, равно (эквивалентно) движенію, потраченному на преодолѣніе тренія.

Вотъ ходъ мыслей, который Майеръ хотѣлъ ввести въ физику. Всякая причина должна имѣть свое дѣйствіе и всякое дѣйствіе свою причину. Химики примѣняютъ это основное положеніе въ области вещества, а Майеръ требовалъ, чтобы оно прилагалось и въ области „силы“ (въ современномъ обозначеній: „энергіи“).

165. Энергіи, по его мнѣнію, являются причинами, и въ цѣпи причинъ и слѣдствій не можетъ отсутствовать звено или его часть. Причины (т. е. энергіи) не могутъ поэтому уничтожаться, онѣ лишь способны принимать различныя формы. Причина поднятія груза есть энергія, дѣйствіе которой (заключающееся въ томъ, что грузъ лежитъ выше, чѣмъ раньше) есть также энергія. Такую энергію въ настоящее время называютъ энергіей положенія (ср. I, § 181).—Задолго до Майера было извѣстно, что энергія положенія превращается въ энергію движенія, когда поднятому тѣлу даютъ падать, и что пріобрѣтенная энергія скорости равна потерянной энергіи положенія (I, § 182), а также и то, что тѣло, брошенное вверхъ по вертикальному направленію, теряетъ въ энергіи движенія столько же, сколько оно выигрываетъ въ энергіи положенія. Майеръ указываетъ на то, что часто можно наблюдать, какъ движеніе (слѣдовательно, и энергія движенія) исчезаетъ, причемъ повидимому не возникаетъ другого движенія или другой энергіи положенія, и спрашиваетъ, куда же дѣвается энергія движенія, гдѣ слѣдуетъ искать ея дѣйствія. Онъ обращаетъ свое вниманіе въ

http://mathesis.ru

особенности на образованіе теплоты при треніи двухъ металлическихъ пластинокъ. Здѣсь движеніе исчезаетъ вслѣдствіе сопротивленія тренія и единственный эффектъ, который можно наблюдать, заключается въ томъ, что пластинки нагрѣваются. Онъ долженъ былъ поэтому заключить, что энергія движенія (которая представляетъ причину) превращается въ теплоту (представляющую, слѣдовательно, ея слѣдствіе) такимъ же образомъ, какъ энергія движенія превращается въ энергію положенія. Теплота, такимъ образомъ, есть форма энергіи.

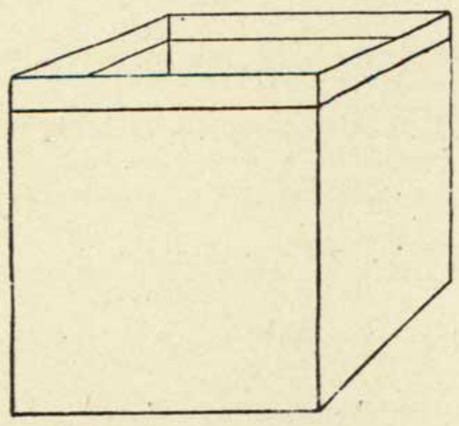
Показывая естественную связь между энергіей положенія, энергіей движенія и теплотой, Майеръ пишетъ: „Мы знаемъ, что теплота проявляется тогда, когда отдѣльныя частицы тѣла сближаются; при уплотненіи выдѣляется теплота; то, что справедливо для мельчайшихъ частицъ тѣла и промежутковъ между ними, должно имѣть мѣсто и для большихъ массъ и измѣримыхъ разстояній. Паденіе груза на землю въ дѣйствительности есть сокращеніе объема земного тѣла и потому должно находиться въ связи съ обнаруживающейся теплотой; эта теплота должна быть строго пропорціональна величинѣ груза и его (первоначальному) разстоянію отъ земли“.

Здѣсь, слѣдовательно, Майеръ имѣлъ цѣпь: энергія положенія, энергія движенія, теплота. Каждое звено ея является слѣдствіемъ предшествующаго и равнозначно ему. Цѣпь можетъ быть взята и въ обратномъ порядкѣ, теплота можетъ, при помощи паровой машины, порождать энергію движенія, а послѣдняя, путемъ поднятія груза, можетъ быть превращена въ энергію положенія.

166. Эти идеи были развиты Майеромъ въ статьѣ, появившейся въ 1842 году[1]), въ которой онъ указываетъ также, какимъ образомъ отношеніе между теплотой и энергіей движенія (работой) можетъ быть выражено числомъ[2]).

Представимъ себѣ полый кубъ, наполненный воздухомъ (рис. 144), ребро котораго равно 1 метру и объемъ котораго составляетъ, слѣдовательно, одинъ кубическій метръ.

Рис. 144



Вычисленіе механическаго эквивалента теплоты.

Верхняя грань этого куба пусть будетъ подвижна, остальныя же пять неподвижны. Верхняя грань подобно поршню парового цилиндра можетъ входить болѣе или менѣе глубоко въ ящикъ, образованный остальными поверхностями куба. На поверхность куба давитъ атмосфера съ силою, равной вѣсу столба ртути въ $0{\cdot}76\ м$ высоты (I, § 234). Такъ какъ поверхность куба равна $1\ квм$, то давленіе воздуха равно вѣсу $0{\cdot}76\ кбм$ ртути. Удѣльный вѣсъ ртути равенъ 13·6, т. е. $1\ кбсм$ ртути вѣситъ $13{\cdot}6\ г$, а $1\ кбм$, слѣдовательно, $13600\ кг$. Согласно съ этимъ давленіе на грань взятаго куба должно составлять $13600 \times 0{\cdot}76 = 10336\ кг$.

Если нагрѣть воздухъ въ кубѣ на 1^0 C, то подвижная грань куба подымется на $^1/_{273}\ м$, такъ какъ воздухъ расширится на $^1/_{273}$ своего объема (ср. § 35). Но для того, чтобы поднять грань куба, воздухъ долженъ произвести работу, величина которой равна произведенію давленія на путь, пройденный гранью куба. Работа эта

---

[1]) Она была напечатана въ „Annale der Chemie und Pharmacie“.

[2]) Болѣе подробно Майеръ разсматриваетъ это вычисленіе въ статьѣ, вышедшей въ 1845 году въ Гейльброннѣ подъ заглавіемъ: „Органическое движеніе въ связи съ обмѣномъ веществъ“.

http://mathesis.ru

равна, слѣдовательно, $10336 \times {}^{1}/_{273} = 37{\cdot}8$ килограмметровъ. Еслибы тотъ же объемъ воздуха былъ заключенъ въ кубъ съ шестью неподвижными гранями, то при нагрѣваніи воздуха не получилось бы работы, но увеличилось бы давленіе, производимое этимъ воздухомъ. Въ этомъ случаѣ понадобилось бы и меньше теплоты, чтобы нагрѣть воздухъ на 1^0 C, а именно, приблизительно на 0 09 тепловой единицы меньше, чѣмъ въ томъ случаѣ, когда воздухъ можетъ расширяться. Такъ какъ температура воздуха въ обоихъ случаяхъ повысилась на одну и ту же величину, то въ одномъ случаѣ излишекъ тепла былъ израсходованъ на работу. Итакъ 0·09 единицы тепла превращаются въ 37·8 килограмметровъ. Значитъ, единица тепла (килограммкалорія) эквивалентна 420 (приблизительно) килограмметрамъ.

Майеръ, однако, нашелъ значительно меньшую цыфру (367), такъ какъ въ то время измѣренія теплоты, затраченной при нагрѣваніи воздуха, не были достаточно точны.

167. Майеръ встрѣтилъ у физиковъ мало пониманія. Его даже вовсе не понимали и онъ не могъ добиться и того, чтобы статья его была напечатана въ Анналахъ Поггендорфа [1]). Этому много способствовало то обстоятельство, что Майеръ основывалъ свое изложеніе исключительно на положеніи о нераздѣльности причины и слѣдствія, не подтверждая правильности этого утвержденія опытомъ. Чтобы ознакомиться съ мнѣніями спеціалистовъ физиковъ, Майеръ лично бесѣдовалъ съ профессорами физики въ Гейдельбергѣ и Тюбингенѣ. Первый изъ нихъ, Жолли, сказалъ ему, что этотъ вопросъ его очень интересуетъ и побуждалъ Майера „продолжать“; другой, Нёрремберггъ, возражалъ, что, если Майеръ правъ, то вода при встряхиваніи должна нагрѣваться. Майеръ, которому это явленіе было уже знакомо [2]), по своемъ возвращеніи изъ Тюбингена продѣлалъ этотъ опытъ нѣсколько разъ и всегда съ полнымъ успѣхомъ.

Людвигъ Августъ Кольдингъ

168. Въ томъ же году, когда Майеръ путешествовалъ въ Остъ-Индію, въ Копенгагенѣ происходилъ первый съѣздъ сѣверныхъ естествоиспытателей. На этомъ собраніи молодой технологъ Людвигъ Августъ Кольдингъ собирался прочесть докладъ о неуничтожаемости силъ природы. Онъ отказался, однако, отъ этой мысли, послѣ того какъ Эрстедъ далъ ему совѣтъ сначала доказать правильность своихъ идей при помощи опытовъ.

Кольдингъ родился въ 1815 году въ Арнаккегаардѣ близъ Гольбэка, но росъ въ Нюгаардѣ близъ Копенгагена. Онъ поступилъ въ ученіе къ столяру въ Копенгагенѣ и въ 1836 году сдѣлался подмастерьемъ. Въ слѣдующемъ году онъ поступилъ въ Политехническій институтъ, который окончилъ въ 1841 году. Въ 1843 году онъ представилъ въ мѣстное научное общество свою первую статью. Послѣ дальнѣйшихъ занятій, во время которыхъ онъ пользовался поддержкой названнаго общества, Кольдингъ представилъ болѣе значительную статью, въ которой сообщалъ о многочисленныхъ опытахъ, сдѣланныхъ имъ съ цѣлью опредѣлить соотношеніе между работой и теплотой.

---

[1]) Извѣстный журналъ, посвященный физикѣ. *Прим. пер.*

[2]) Во время морского путешествія штурманъ обращалъ его вниманіе на то, что гонимыя бурею волны теплѣе спокойной воды.

http://mathesis.ru

169. Подобно Майеру, Кольдингъ трактовалъ вопросъ о соотношеніи между силами природы весьма широко. Онъ пишетъ: „Какъ мнѣ кажется, опытъ ясно устанавливаетъ, что силы природы находятся въ тѣсной внутренней связи между собой, такъ какъ онъ учитъ, что всякая сила своимъ дѣйствіемъ вызываетъ другія силы природы и можетъ давать имъ возможность дѣйствовать“. Треніе производитъ теплоту и свѣтъ и то же треніе электризуетъ янтарь. Онъ напоминаетъ объ опытахъ Румфорда надъ сверленіемъ и о другихъ работахъ, имѣвшихъ цѣлью выяснить связь между теплотой и движеніемъ, и говоритъ: „Мысль о томъ, что какая-нибудь дѣятельность матеріи можетъ исчезнуть, не проявившись снова въ видѣ дѣйствующей причины, представляется мнѣ противной разуму, и я утверждаю, что всѣ силы безъ исключенія испытываютъ лишь измѣненіе формы, когда онѣ кажутся исчезнувшими, и что онѣ снова обнаруживаются въ качествѣ дѣйствующихъ причинъ той же величины, но въ измѣненной формѣ“.

170. Въ статьѣ, относящейся къ 1843 году, Кольдингъ сообщаетъ рядъ опытовъ надъ теплотой тренія, изъ которыхъ, по его мнѣнію, можно было сдѣлать тотъ выводъ, что количество теплоты прямо пропорціонально „потерянной“ работѣ. Статья, появившаяся въ 1847 году, составляетъ продолженіе первой. Опыты производились съ приборомъ, изображеннымъ на рис. 145 и 146. Онъ состоитъ изъ телѣжки съ полозьями, нагруженной пушечными ядрами и движущейся по металлическимъ рельсамъ. Полозья покрыты металлическими полосами *c*. Полозья и рельсы, по которымъ они скользятъ, помѣщены на брусахъ *b* изъ бакаутоваго дерева и могутъ безпрепятственно расширяться, такъ какъ укрѣплены лишь на одномъ концѣ. Телѣжку можно тянуть при помощи веревки, перекинутой черезъ блокъ и натягиваемой грузомъ; теплота, вызванная

Рис. 145

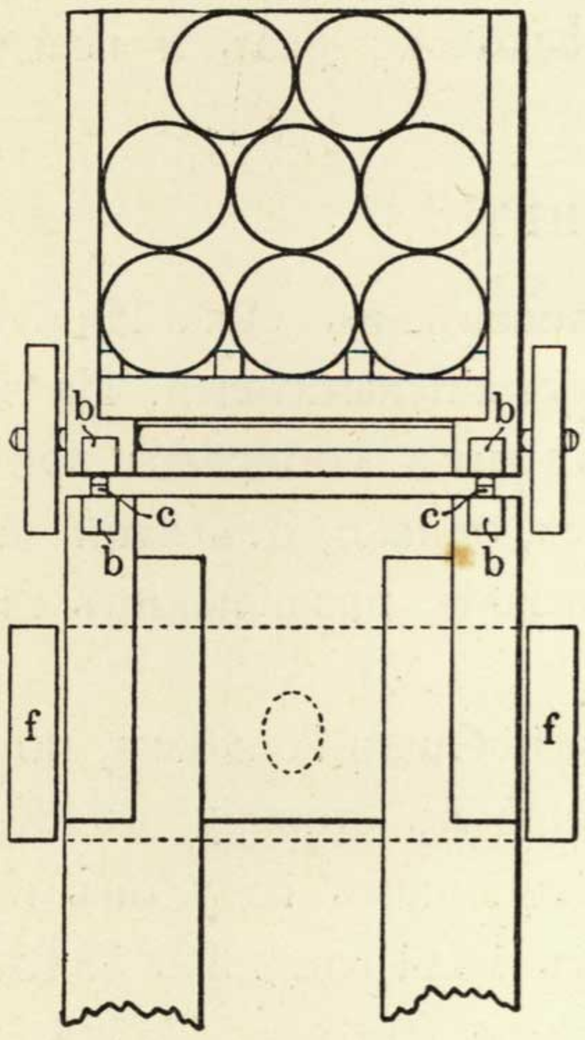
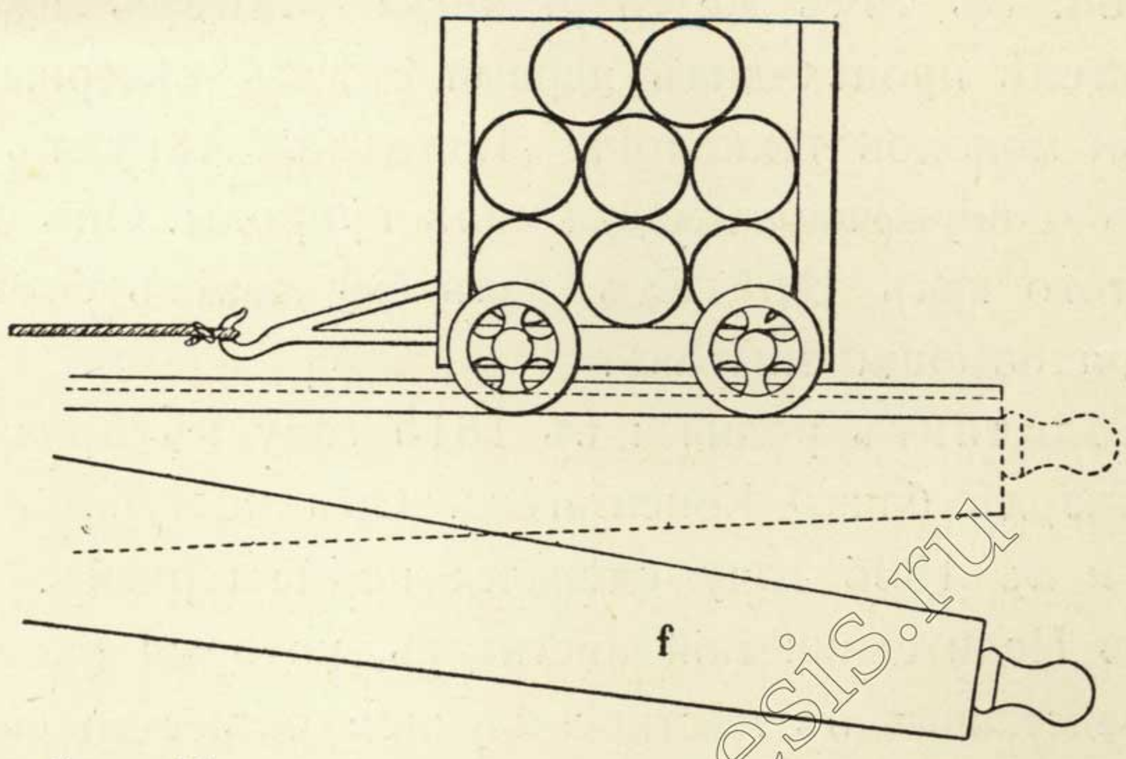


Рис. 146



Приборъ Кольдинга.

треніемъ, заставляетъ удлиняться рельсы и металлическія полозья. Когда телѣжка достигаетъ конца пути, посредствомъ поднятія балокъ *f* она приводится въ положеніе, указанное пунктиромъ (рис. 146), и превращается, такимъ образомъ, въ вагонетку, стоящую колесами на балкахъ *f*, по которымъ ее можно откатить обратно. Затѣмъ балки *f* опускаются, телѣжка снова превращается въ салазки, которыя снова заставляютъ скользить по рельсамъ, и т. д. Кольдингъ нашелъ число фунтофутовъ,

http://mathesis.ru

необходимыхъ для преодолѣнія тренія, и изъ расширенія металлическихъ рельсовъ, которое было измѣрено очень точно, вычислилъ теплоту, полученную путемъ этого тренія.

171. Въ результатѣ 14 рядовъ такихъ опытовъ Кольдингъ получилъ слѣдующее:

1. Развивавшееся количество тепла увеличивалось вмѣстѣ съ работой, затраченной на то, чтобы тянуть телѣжку.

2. Это количество тепла не зависѣло отъ рода металла, изъ котораго были сдѣланы рельсы и обивка полозьевъ.

3. Въ среднемъ фунтовая единица теплоты развивалась при затратѣ 1185·4 фунтофутовъ работы (для килограммовой единицы теплоты это дастъ 372 килограммметра работы).

Кольдингъ, слѣдовательно, доказалъ при помощи своихъ опытовъ, что между теплотой и механической работой существуетъ опредѣленная зависимость. Опредѣленное количество работы при помощи тренія можетъ быть превращено въ опредѣленное количество тепла.

Кольдингъ хотѣлъ опредѣлить отношеніе между единицей работы и единицей тепла или, какъ это теперь принято называть, механическій эквивалентъ тепла, и хотя его измѣренія дали слишкомъ малую величину (372 вмѣсто 424 килограммметровъ), все же Кольдингъ на ряду съ Майеромъ заслуживаетъ имени основателя механической теоріи тепла.

Джэмсъ Прескоттъ Джауль

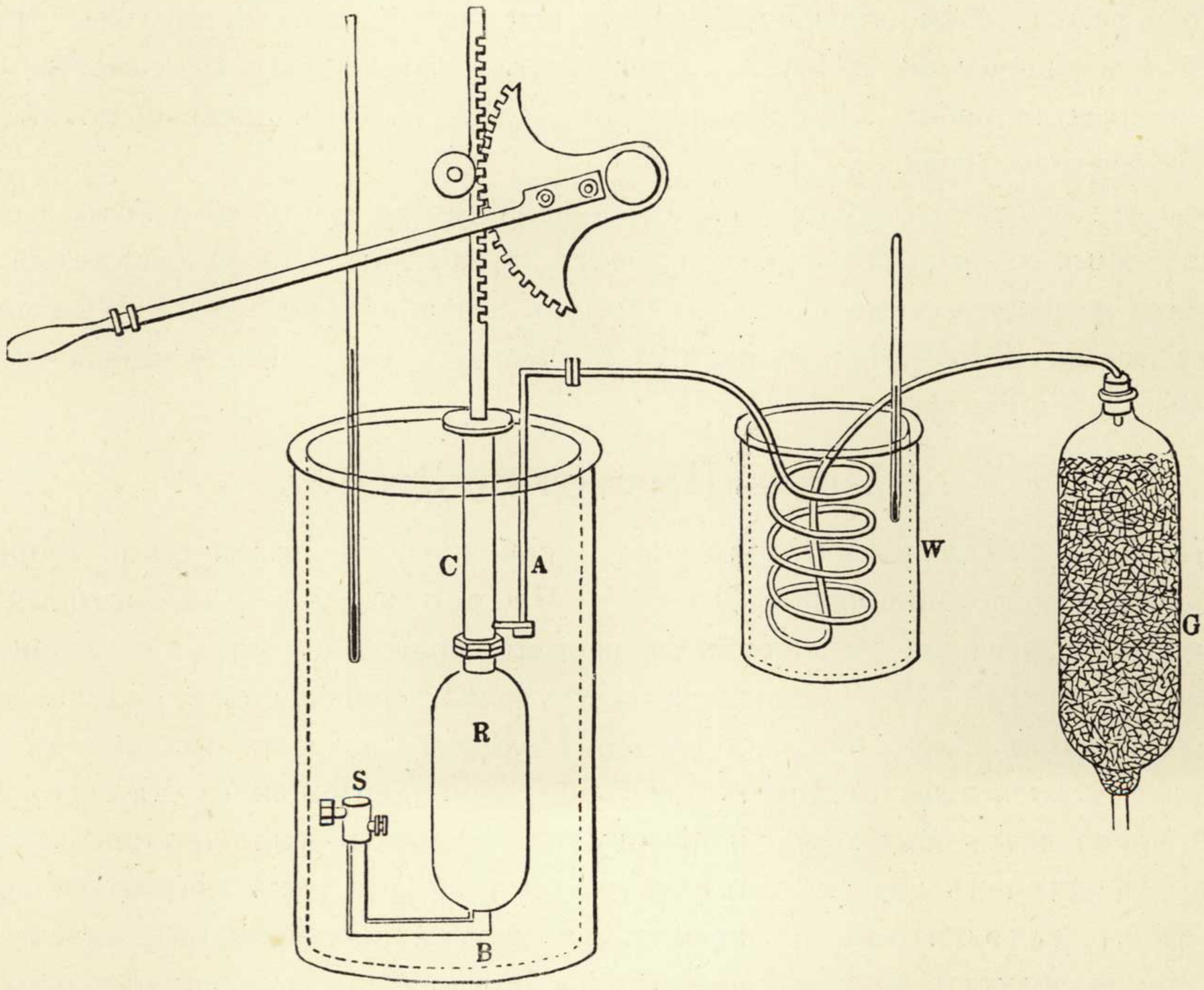
172. Кромѣ Майера и Кольдинга въ обоснованіи механической теоріи тепла значительное участіе принималъ Джэмсъ Прескоттъ Джауль, который произвелъ весьма тщательное и точное экспериментальное опредѣленіе механическаго эквивалента теплоты. Онъ происходилъ изъ семьи пивоваровъ и родился въ 1818 году въ Сальфордѣ близъ Манчестера. До 15-лѣтняго возраста онъ вмѣстѣ со старшимъ братомъ воспитывался дома. Затѣмъ оба они поступили къ Дальтону (§ 80), который преподавалъ имъ химію и физику. Джауль особенно интересовался физикой и отецъ устроилъ ему лабораторію, въ которой онъ могъ заниматься производствомъ физическихъ опытовъ. Располагая ничтожными пособіями, онъ, однако, вскорѣ достигъ такой ловкости въ экспериментированіи, что былъ въ состояніи производить новыя наблюденія путемъ самостоятельныхъ опытовъ. Изслѣдованія въ области ученія объ электричествѣ побудили его также заняться вопросомъ о связи между теплотой и другими силами природы. Мы не можемъ здѣсь подробнѣе останавливаться на этихъ первыхъ работахъ Джауля, такъ какъ для ихъ пониманія необходимо знакомство съ электрическими явленіями, о которыхъ рѣчь будетъ ниже. Онъ нашелъ, что съ помощью электромагнитизма можно получать теплоту и уничтожать ее, а электромагнитизмъ онъ получалъ съ помощью механической работы. Джауль старался такимъ путемъ найти механическій эквивалентъ теплоты, но болѣе точныхъ результатовъ онъ достигъ при помощи своихъ позднѣйшихъ изслѣдованій другого рода. Мы познакомимся теперь съ нѣкоторыми изъ его многочисленныхъ и геніально выполненныхъ опытовъ.

173. Джауль опредѣлялъ эквивалентъ теплоты различными способами при помощи сжатія или расширенія воздуха. Одинъ изъ его способовъ изображенъ на рис. 147. Въ водяномъ калориметрѣ, защищенномъ отъ потери тепла, находится

http://mathesis.ru

прочный резервуаръ R, въ которомъ сжимается воздухъ при помощи воздушнаго насоса C. Прежде чѣмъ воздухъ сжимается въ резервуарѣ R, онъ проходитъ по трубкѣ G и затѣмъ по змѣевику, погруженному въ водяную ванну W. Трубка G наполнена кусками пемзы, смоченными сѣрной кислотой. Сѣрная кислота поглощаетъ водяные пары воздуха, а въ змѣевикѣ воздухъ принимаетъ опредѣленную температуру. Когда затѣмъ воздухъ сжимается въ сосудѣ R, онъ нагрѣвается и развиваемая при этомъ теплота сообщается водѣ калориметра. Количество воды бралось такое, что температуры ея до и послѣ опыта [1]) мало отличались одна отъ другой и ихъ среднее было равно температурѣ водяной ванны W. При такихъ условіяхъ легко вы-

Рис. 147



Измѣреніе механическаго эквивалента тепла по Джаулю.

числить, какая работа была затрачена на сжатіе воздуха. Можно допустить, что сжатіе происходитъ при постоянной температурѣ, слѣдовательно, согласно закону Бойля (ср. первую часть второй половины кругового процесса Карно, § 158).

Джауль произвелъ соотвѣтствующій опытъ и для того, чтобы измѣрить тепловой эквивалентъ путемъ опредѣленія величины охлажденія воздуха при расширеніи. Резервуаръ R, наполненный сжатымъ воздухомъ, находился въ водяномъ калориметрѣ (рис. 148); когда открывали кранъ h, воздухъ устремлялся чрезъ змѣевикъ въ сосудъ, наполненный водой. Зная объемъ вытекшаго воздуха, преодолѣвшаго сопротивленіе атмосферы и вытѣснившаго воду изъ сосуда, Джауль могъ вычислить

---

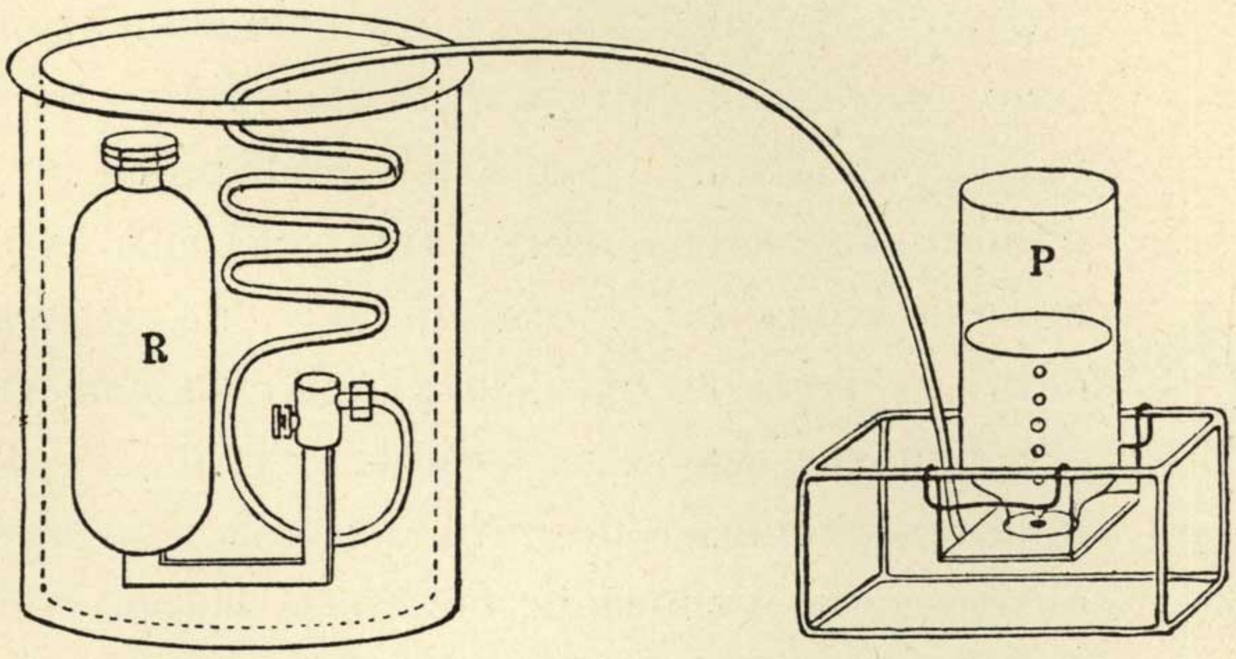
[1]) Эти температуры измѣрялись весьма чувствительнымъ термометромъ, указаннымъ на рисункѣ. *Прим. пер.*

http://mathesis.ru

величину работы, произведенной сжатымъ воздухомъ, а при помощи чувствительнаго термометра, погруженнаго въ воду калориметра, могъ найти охлажденіе, соотвѣтствующее этой работѣ.

174. Самый „чистый“ опытъ, который произвелъ Джауль, былъ, однако, тотъ, при которомъ теплота получалась путемъ тренія. Сосудъ (ртутный калориметръ),

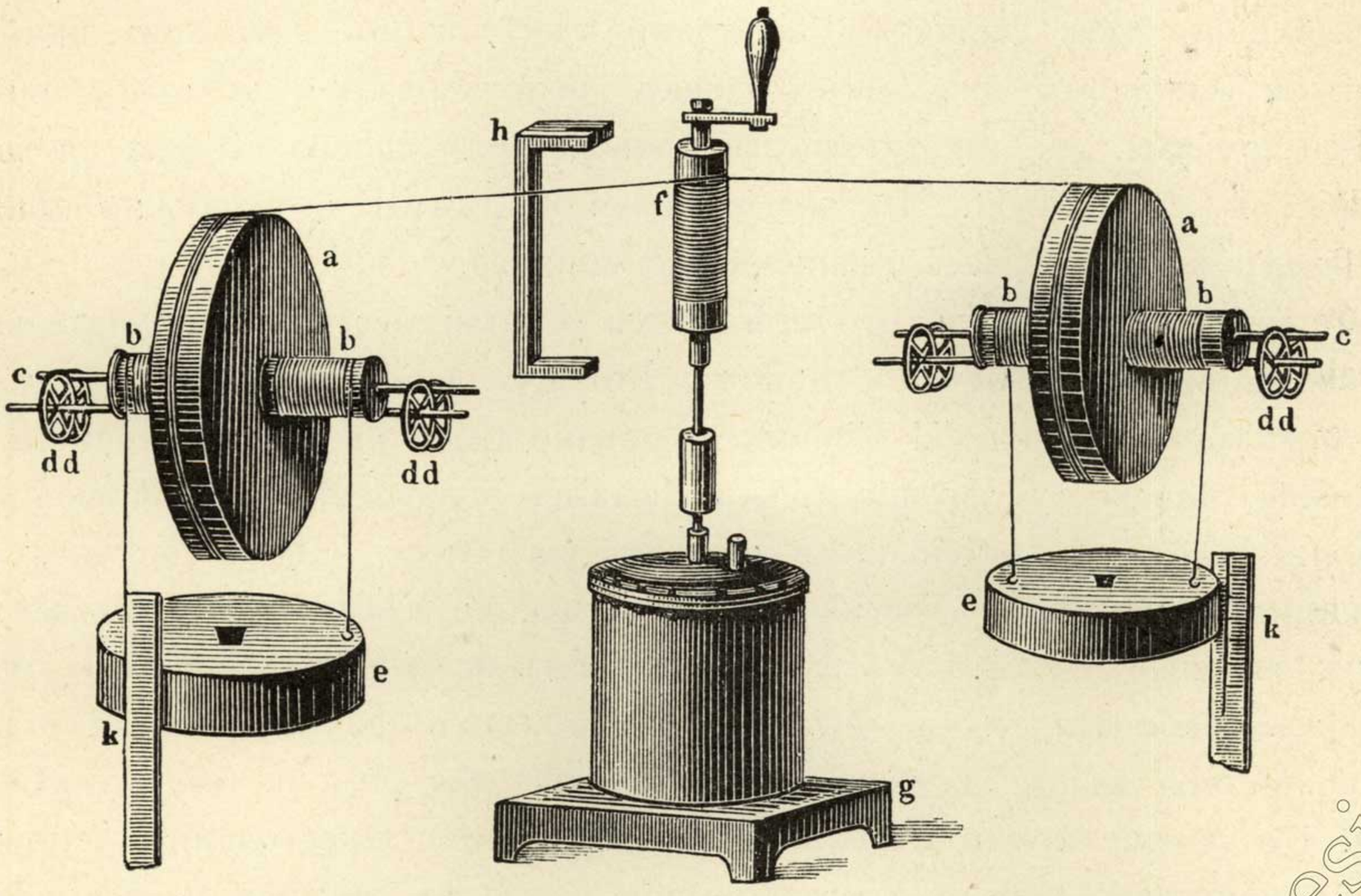
Рис. 148



Измѣреніе теплового эквивалента по Джаулю.

стоящій на подставкѣ *g* (рис. 149), имѣетъ устройство, изображенное на рис. 150. Вращающееся вокругъ вертикальной оси колесо имѣетъ восемь лопатокъ *b* вверху и столько же лопатокъ *g* внизу. Одна группа лопатокъ движется между горизонталь-

Рис. 149



Опредѣленіе теплового эквивалента по Джаулю.

ными металлическими пластинками *f* и *c*, другая между металлической пластинкой *c* и дномъ сосуда. Какимъ образомъ ось приводится во вращеніе паденіемъ грузовъ *ee*, легко видѣть изъ рисунка.

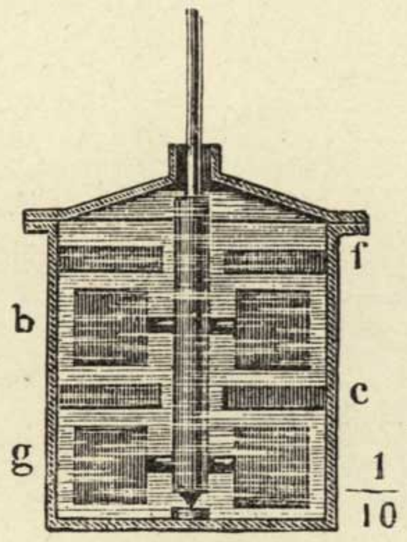
При производствѣ опыта съ этимъ приборомъ сначала разобщаютъ валъ *f* и ось при помощи приспособленія *h*. Затѣмъ, вращеніемъ рукоятки подымаютъ грузы, снова устанавливаютъ соединеніе между валомъ и осью и позволяютъ грузамъ падать.

http://mathesis.ru

Послѣ двадцатикратнаго повторенія этой операціи опредѣляютъ повышеніе температуры ртути вслѣдствіе тренія. Работа, затраченная на полученіе этой теплоты, можетъ быть опредѣлена по величинѣ грузовъ и высотѣ паденія. Изъ многочисленныхъ опытовъ, произведенныхъ Джаулемъ, механическій эквивалентъ тепла былъ опредѣленъ въ 424 килограмметра.

175. Какъ мы видѣли, Майеръ, Кольдингъ и Джауль почти одновременно показали, что между различными силами природы существуетъ болѣе тѣсная зависимость, чѣмъ полагали до того времени. Майеръ и Кольдингъ ясно высказали, что къ спеціальному вопросу о зависимости между теплотой и работой ихъ привели соображенія болѣе общаго характера. Имъ былъ сдѣланъ упрекъ въ томъ, что они, подходя къ этому вопросу, не отдавали себѣ яснаго отчета въ немъ и пускались въ философскія разсужденія. Совсѣмъ иначе взялся за дѣло Джауль. Для разрѣшенія этого вопроса онъ пошелъ по пути опыта и свои выводы дѣлалъ исключительно на основаніи опытовъ. И онъ также былъ воодушевленъ широкими идеями, которыя, однако, рѣдко высказывались и на которыя лишь иногда дѣлались только намеки, какъ напримѣръ, въ слѣдующихъ его словахъ: „Мы можемъ a priori заключить, что полное уничтоженіе „живой силы“ невозможно, ибо нельзя допустить, что сила, которую Богъ вложилъ въ матерію, легче можетъ быть уничтожена, чѣмъ создана, усиліями человѣка“.

Рис. 150



Калориметръ Джауля.

Майеръ не былъ физикомъ въ такой мѣрѣ, чтобы самостоятельно придумывать опыты и выполнять ихъ; онъ, однако, использовалъ результаты опытовъ, выполненныхъ другими, для доказательства правильности своего взгляда на зависимость между работой и теплотой. Что же касается Кольдинга, то нужно признать, что онъ произвелъ опытное изслѣдованіе этого вопроса.

Само собою разумѣется, что при всѣхъ обстоятельствахъ окончательное слово въ естествознаніи принадлежитъ опыту. „Provando e Riprovando“ (опытъ и снова опытъ) — девизъ Accademia del Cimento — должно быть на вѣчныя времена девизомъ естествознанія; однако, умозрѣніе должно и здѣсь пользоваться правами гражданства, какъ и во всякой иной дѣятельности человѣческаго духа. — Дѣлаетъ открытія не тотъ непремѣнно, кто проникнутъ насквозь ученостью, не дѣйствующій по всѣмъ правиламъ искусства спеціалистъ. Какъ выразился одинъ остроумный писатель, отъ изобрѣтателя нельзя требовать, чтобы онъ былъ непремѣнно филистеромъ, а отъ односторонняго филистера нельзя ожидать открытій, какъ бы онъ ни былъ ученъ.

176. Въ теченіе продолжительнаго времени шелъ ожесточенный споръ о томъ, кто изъ упомянутыхъ трехъ лицъ впервые и наиболѣе обстоятельно выяснилъ зависимость между теплотой и работой. Но споры подобнаго рода безплодны. Каждый изъ этихъ трехъ ученыхъ несомнѣнно работалъ независимо другъ отъ друга, но всѣ они были дѣтьми своей эпохи и черпали идеи изъ современнаго круга знаній. Для науки было большимъ счастьемъ, что зависимость между теплотой и работой была установлена одновременно въ различныхъ мѣстахъ, такъ какъ благодаря этому указанное открытіе быстро стало достояніемъ всего цивилизованнаго міра.

Если нужно присудить первенство одному только человѣку, то этимъ человѣ-

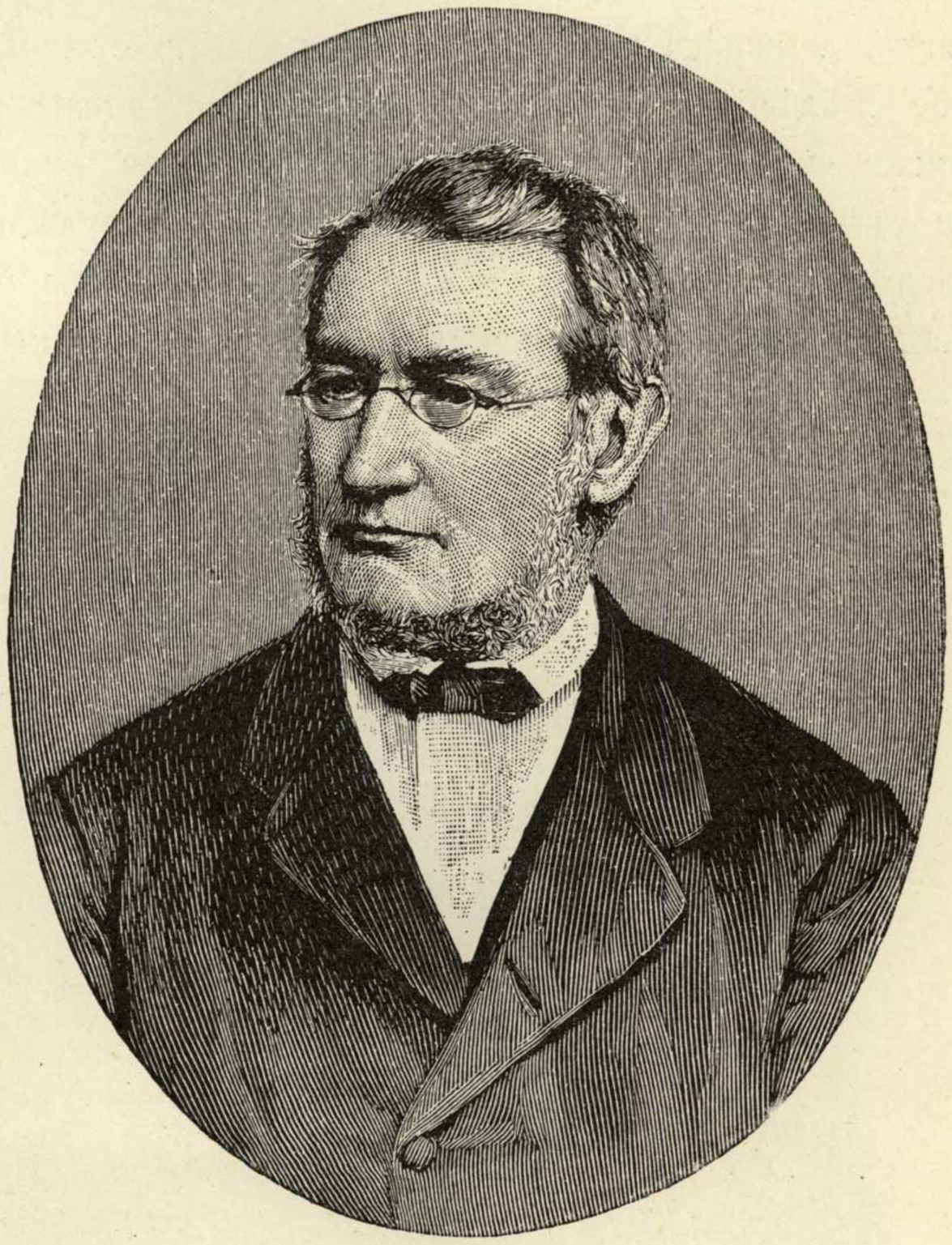
http://mathesis.ru

комъ слѣдуетъ признать Карно, такъ какъ изъ оставшейся послѣ него рукописи, опубликованной въ 1878 году (ср. § 158), видно, что онъ, подобно Румфорду и Дэви, не только пришелъ къ мысли о томъ, что теплота не есть вещество, но и довольно правильно опредѣлилъ механическій эквивалентъ тепла и далъ указанія на надлежащіе опыты, которые впослѣдствіи были выполнены Джаулемъ. Еслибы Карно прожилъ еще нѣсколько лѣтъ, то опредѣленіе механическаго эквивалента тепла было бы, вѣроятно, всецѣло связано съ однимъ только его именемъ.

177. Съ 1841 года Майеръ былъ врачомъ въ своемъ родномъ городѣ Гейльброннѣ. Въ сороковыхъ годахъ онъ опубликовалъ нѣсколько важныхъ работъ о зависимости между силами природы; но эти работы почти не обратили на себя вниманія.

Въ 1847 году Парижской Академіи была представлена работа Джауля о механическомъ эквивалентѣ тепла и Майеръ обратился въ Академію съ письмомъ, въ которомъ настаивалъ на своемъ первенствѣ въ открытіи механическаго эквивалента тепла. Джауль въ своемъ возраженіи сослался на свои статьи, доказывая, что онъ работалъ совершенно независимо отъ Майера и опредѣлилъ механическій эквивалентъ тепла своими собственными опытами.

Рис. 151



Робертъ Майеръ.

Этотъ споръ о пріоритетѣ, тянувшійся много лѣтъ, причинилъ Майеру много огорченій. Вышло въ сущности, что онъ не былъ признанъ; при этомъ онъ не мало страдалъ отъ того, что не получилъ систематической подготовки по физикѣ. Онъ страстно отдался размышленіямъ религіознаго свойства. Не найдя признанія у своихъ современниковъ, онъ хотѣлъ возмѣстить это чѣмъ-нибудь другимъ. Кончилось тѣмъ, что онъ заболѣлъ разстройствомъ умственныхъ способностей и попалъ въ лечебницу въ Гёппингенѣ. Но здѣсь, по его мнѣнію, былъ плохой уходъ, вслѣдствіе чего онъ перешелъ въ другую лечебницу (въ Виннеталѣ). Но и тутъ, какъ онъ полагалъ, его состояніе было неправильно понято. Какъ онъ впослѣдствіи выразился въ одномъ письмѣ, „его здѣсь подвергали всевозможнымъ тѣлеснымъ и душевнымъ мученіямъ, пока ему не удалось вырваться оттуда“. Это пребываніе въ психіатрическихъ лечебницахъ длилось полтора года и омрачило всю его дальнѣйшую жизнь. Самъ онъ настойчиво отрицалъ свою душевную болѣзнь; до конца своей жизни онъ былъ того мнѣнія, что невѣжественные врачи неправильно лечили его.

http://mathesis.ru

Въ пятидесятыхъ годахъ заслуги Майера стали постепенно находить подобающую оцѣнку. Докторъ Бонъ въ Мюнхенѣ въ 1857 году выпустилъ въ свѣтъ трудъ о неразрушимости силъ, въ которомъ онъ признавалъ, что Майеръ далъ толчокъ къ совершенно новому развитію физики. Бонъ, указывая на трудность пониманія сочиненій Майера, добавляетъ: „на долю Майера выпалъ несчастный жребій умереть въ домѣ умалишенныхъ вскорѣ послѣ появленія его сочиненій; этимъ объясняютъ необычныя и неясныя мѣста въ его трудахъ“. — Это попало въ ежедневную прессу и мнѣніе, что Майеръ будто бы умеръ, продолжало держаться въ нѣкоторыхъ мѣстахъ до 70-хъ годовъ, несмотря на то, что въ 1858 году Майеръ принималъ участіе въ съѣздѣ естествоиспытателей въ Карлсруэ и былъ удостоенъ Тюбингенскимъ университетомъ званія доктора honoris causa. Причина, по которой этотъ слухъ держался такъ долго, заключается главнымъ образомъ въ томъ, что это ложное свѣдѣніе попало въ біографическій словарь Поггендорфа (1863). Отсюда можно также видѣть, какъ незамѣтно протекала жизнь Майера въ Гейльброннѣ. Только на съѣздѣ естествоиспытателей въ Иннсбрукѣ (въ 1869 году) на его долю выпали заслуженныя почести. Съ этого времени на него стали сыпаться отличія въ видѣ избраній въ члены ученыхъ обществъ, въ видѣ орденовъ и медалей. Онъ еще прожилъ рядъ счастливыхъ лѣтъ и умеръ въ 1878 году послѣ продолжительной болѣзни. Въ его родномъ городѣ въ 1892 году ему былъ воздвигнутъ памятникъ.

Рис. 152



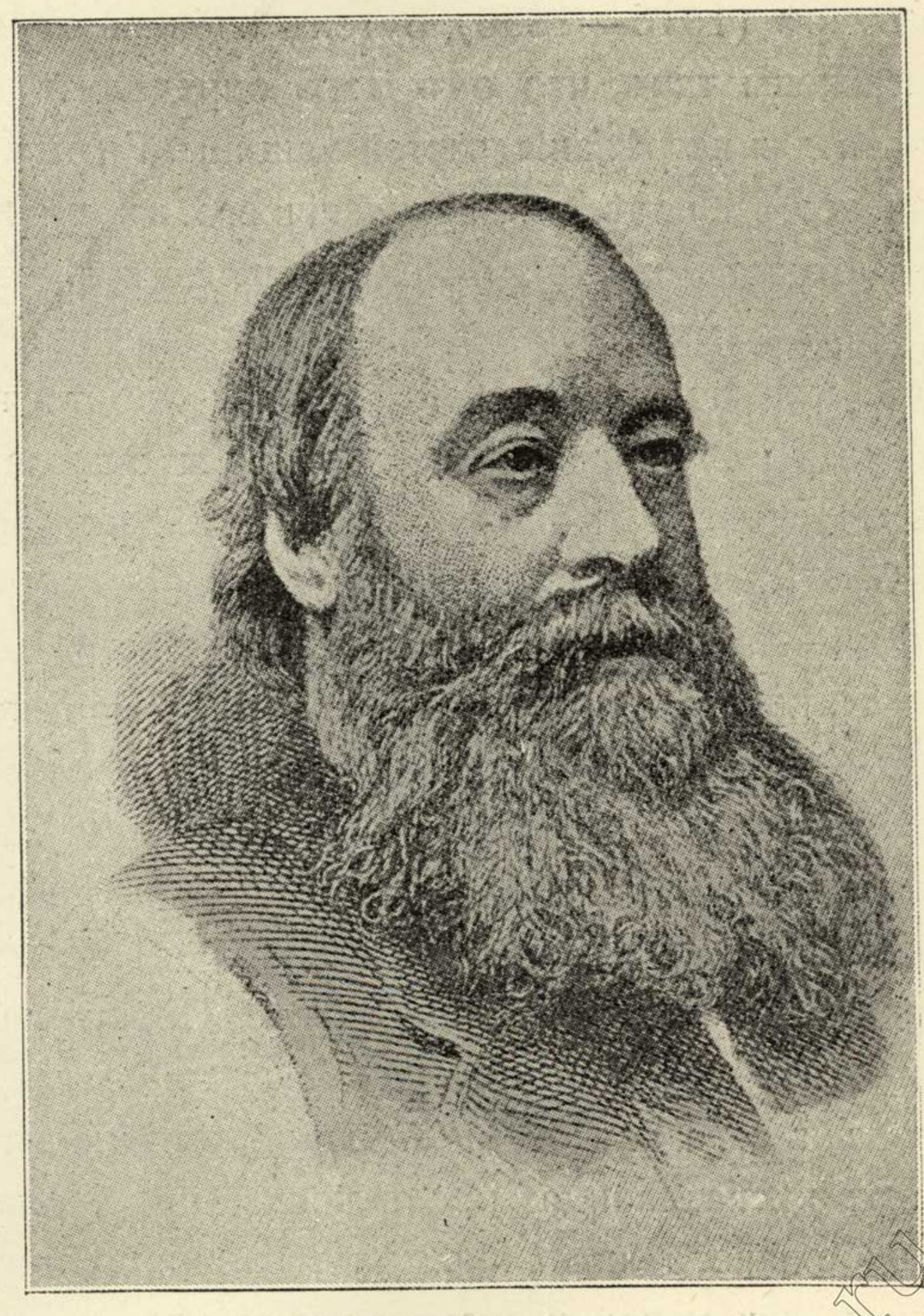
Л. А. Кольдингъ.

178. Кольдингу не пришлось вести борьбы съ непріятностями, какъ Майеру. У него не было необходимости настаивать такъ упорно на безусловномъ признаніи, наоборотъ, онъ спокойно могъ указать на то, что открытіе сдѣлано имъ самостоятельно, что̀ и было признано за нимъ исторіей физики. Помимо научныхъ работъ Кольдингъ опубликовалъ значительное количество статей техническаго характера. Въ 1845 году онъ былъ сдѣланъ инспекторомъ дорогъ, а въ 1847 году инспекторомъ водяныхъ сооруженій. Занимая эти должности, онъ руководилъ также газовымъ заводомъ и водопроводомъ въ Копенгагенѣ и разработалъ планъ канализаціи этого города. Съ 1858 года онъ состоялъ городскимъ инженеромъ и впродолженіе 20 лѣтъ былъ вмѣстѣ съ тѣмъ учителемъ въ политехнической школѣ. Въ 1856 году онъ былъ избранъ въ члены мѣстнаго ученаго общества, а въ 1871 году Эдинбургскій университетъ удостоилъ его степени доктора. Онъ умеръ въ 1888 году.

http://mathesis.ru

179. Джауль до 1854 года велъ совмѣстно съ братомъ пивоваренное дѣло, перешедшее къ нимъ по наслѣдству. Въ этомъ году они продали его въ другія руки. Начало научной извѣстности Джауля относится къ 1847 году; въ этомъ году онъ послалъ Парижской Академіи свой трудъ, упомянутый въ § 177, о механическомъ эквивалентѣ тепла и сдѣлалъ докладъ объ этомъ въ собраніи Британскаго Общества естествоиспытателей (British Association) въ Оксфордѣ. Самые выдающіеся физики Англіи, какъ Майкель Фарадэй и Вильямъ Томсонъ, присутствовали въ этомъ собраніи. Послѣдній пишетъ: „Въ этомъ собраніи я познакомился съ Джаулемъ; это знакомство вскорѣ перешло въ дружбу на всю жизнь. Прослушавъ его докладъ, я сначала хотѣлъ было встать и заявить о его ошибочности. Но постепенно я понялъ, что въ этомъ докладѣ содержится великая истина и великое открытіе“.—Подобно Вильяму Томсону, и всѣ остальные сдѣлались въ концѣ концовъ приверженцами Джауля, благодаря ряду его убѣдительныхъ опытовъ; правда, это случилось не сразу. Вызывало сомнѣнія то обстоятельство, что въ опытахъ Джауля получались лишь очень незначительныя повышенія температуры. Однако, величина механическаго эквивалента тепла, полученная Джаулемъ изъ его опытовъ, была въ концѣ концовъ всѣми признана вѣрной.

Рис. 153



Д. П. Джауль.

Джауль работалъ въ различныхъ областяхъ физики, особенно въ области теплоты и электричества. При обработкѣ результатовъ своихъ опытовъ онъ, подобно Фарадэю, совершенно не пользовался математикой.

Джауль никогда не былъ преподавателемъ. Онъ былъ слабаго здоровья, спокойная и уединенная жизнь болѣе всего отвѣчала его наклонностямъ. Умеръ онъ въ 1889 году въ Сэлѣ близъ Манчестера. За нимъ упрочилась слава изслѣдователя, съ которымъ въ смыслѣ важности изслѣдованій не могъ сравниться ни одинъ изъ ученыхъ, жившихъ въ средней четверти XIX столѣтія.

180. Большинству физиковъ середины прошлаго столѣтія трудно было привыкнуть къ мысли, что теплота и механическая работа „эквивалентны“. Такое воззрѣніе находилось въ противорѣчіи съ положеніемъ Карно, по которому теплота совершаетъ работу лишь въ томъ случаѣ, когда она, не уменьшаясь количественно, „падаетъ“ въ температурѣ (ср. § 158).

Рѣшающее слово объ этомъ было сказано Рудольфомъ Клаузіусомъ

(род. въ 1822 году въ Кёслинѣ, ум. въ 1888 году профессоромъ физики въ Боннѣ), бывшимъ въ то время преподавателемъ въ артиллерійской школѣ въ Берлинѣ. Именно, онъ показалъ, что круговой процессъ Карно и его утвержденіе, что работа находится въ зависимости отъ теплоты, переводимой отъ болѣе высокой температуры къ болѣе низкой, легко согласуются съ ученіемъ объ эквивалентности теплоты и работы. Дѣйствительно, весь ходъ разсужденій Карно вовсе не требуетъ, чтобы теплота, какъ притекшая, такъ и отданная во время кругового процесса, была одна и та же. Самъ Карно, правда, говоритъ въ своемъ сочиненіи, что, по его мнѣнію, эти два количества тепла тождественны, но его изложеніе кругового процесса не предполагаетъ этого допущенія. Клаузіусъ и выясняетъ, что работа, полученная при круговомъ процессѣ, является эквивалентомъ исчезнувшаго количества тепла. Отсюда слѣдуетъ, что количество теплоты, притекшее при круговомъ процессѣ, больше, чѣмъ отданное.

Что дѣло происходитъ именно такъ, было доказано Гирномъ, инженеромъ въ Кольмарѣ (1815—1890), путемъ наблюденій надъ паровой машиной. Его опыты были поставлены такъ, что онъ могъ опредѣлить количество теплоты, которое отнималось у пара для нагрѣванія частей машины. Гирнъ нашелъ, что количество теплоты, содержащееся въ парѣ до вступленія его въ цилиндръ, больше того количества, которое паръ отдаетъ отчасти машиннымъ частямъ, отчасти холодной водѣ конденсатора. Выполненіе опытовъ подобнаго рода, конечно, было сопряжено съ большими трудностями и было невозможно поэтому добиться вполнѣ точныхъ результатовъ. Однако, Клаузіусъ, сдѣлавъ вычисленія для опытовъ Гирна, доказалъ, что теплота, истраченная паровой машиной, приблизительно соотвѣтствуетъ работѣ, выполненной поршнемъ. Этимъ было доказано первое основное положеніе механической теоріи тепла,—положеніе объ эквивалентности теплоты и работы, доказанное для того случая, когда совершается переходъ теплоты въ работу, послѣ того какъ раньше это положеніе было доказано для перехода работы въ теплоту.

Изъ другихъ работъ Гирна слѣдуетъ отмѣтить произведенное имъ опредѣленіе механическаго эквивалента тепла. Желѣзный цилиндръ вѣсомъ въ 350 *кг* и призматическая глыба песчаника были подвѣшены на четырехъ канатахъ такъ, что могли соприкасаться своими основаніями. Обращенная къ цилиндру поверхность глыбы была покрыта желѣзнымъ листомъ. Опытъ состоялъ въ томъ, что желѣзный цилиндръ заставляли падать съ опредѣленной высоты на каменную призму и производить этимъ сжатіе куска свинца, послѣ чего опредѣлялась теплота, образовавшаяся при ударѣ. Изъ большого числа опытовъ, на подробностяхъ которыхъ здѣсь нельзя останавливаться, для механическаго эквивалента тепла получилось число 425·2 килограмметра.

181. Небольшое количество теплоты соотвѣтствуетъ большому количеству работы; другими словами, теплота является весьма дѣятельной формой энергіи. Большая калорія (килограммкалорія) соотвѣтствуетъ 424 килограмметрамъ работы.

Одинъ килограммъ угля при сгораніи даетъ 8000 единицъ тепла, что соотвѣтствуетъ количеству работы въ $8000 \times 424 = 3392000$ килограмметровъ. Подъ лошадиной силой разумѣютъ такую силу, которая способна совершить въ одну секунду 75 килограмметровъ работы, а въ часъ 270000 килограмметровъ. Слѣдовательно, въ одномъ килограммѣ угля заключается энергія въ 12·5 „лошадей-часовъ“.

Еслибъ у насъ были приборы (машины), помощью которыхъ можно было бы

http://mathesis.ru

превращать въ работу всю теплоту сгоранія, то отъ небольшого количества угля можно было бы получить очень большое количество работы.

Но тутъ выступаетъ положеніе Карно (второе основное положеніе механической теоріи теплоты, полнѣе развитое Клаузіусомъ), согласно которому при переходѣ теплоты въ работу теплота должна испытывать „паденіе“,—должна переходить отъ болѣе высокой температуры къ болѣе низкой. Количество теплоты, которое можетъ быть превращено машиной въ работу, зависитъ отъ величины паденія температуры, которому подвергается теплота, что̀ обусловливается чисто практическими обстоятельствами.

Вычислено, что у обыкновенныхъ паровыхъ машинъ, работающихъ—если имѣть въ виду проницаемость поршня—съ температурами рѣдко выше 200° C, въ работу превращается, самое большее, 20% теплоты. У небольшихъ машинъ это отношеніе еще неблагопріятнѣе.

У паровыхъ турбинъ (§ 56) отношенія нѣсколько иныя. Такъ какъ у нихъ нѣтъ поршня, то онѣ могутъ работать съ значительно болѣе высокими температурами, благодаря чему можетъ быть достигнуто бо́льшее полезное дѣйствіе.

Механическая теорія теплоты

182. Итакъ, теплота въ настоящее время разсматривается, какъ энергія. Представленіе о существованіи особаго теплового вещества совершенно оставлено; допущеніе Румфорда, что теплота представляетъ собою родъ движенія, нашло всеобщее признаніе. Теорія теплорода замѣнена механической теоріей тепла; ея основаніями служатъ изложенныя выше открытія и опыты. Эта теорія исходитъ изъ допущенія, что теплота есть движеніе мельчайшихъ частицъ тѣла, движеніе молекулъ. Послѣднія такъ малы, что видѣть ихъ невозможно; но движеніе ихъ воспринимается нервами и вызываетъ ощущеніе, которое мы называемъ теплотой.

Согласно древнему воззрѣнію на природу теплоты (Геронъ), нагрѣваніе тѣла есть слѣдствіе проникновеніе огня (теплоты) въ поры тѣла (§ 38). Явленіе плавленія, по мнѣнію Галилея, состоитъ въ томъ, что теплота всецѣло заполняетъ поры. Механическая теорія тепла также даетъ намъ возможность составить себѣ болѣе опредѣленное представленіе о явленіяхъ нагрѣванія, плавленія и испаренія. Намъ нужно прежде всего составить ясное понятіе о внутреннемъ строеніи тѣла. Ниже объ этомъ будетъ сказано болѣе подробно. Пока же мы ограничимся слѣдующими замѣчаніями.

Твердое тѣло состоитъ изъ молекулъ (маленькихъ частицъ), которыя порознь или группами производятъ притягательное дѣйствіе другъ на друга (сила сцѣпленія). Молекулы разсматриваются, какъ абсолютно твердыя, слѣдовательно, какъ несжимаемыя. Отсюда вытекаетъ, что въ такъ называемомъ твердомъ тѣлѣ молекулы не могутъ непосредственно соприкасаться другъ съ другомъ, такъ какъ всѣ тѣла въ бо̀льшей или меньшей степени сжимаемы. Но молекулы твердаго тѣла занимаютъ опредѣленное положеніе равновѣсія и если онѣ выводятся изъ этого положенія вслѣдствіе сжатія или расширенія тѣла, то онѣ стремятся вернуться къ нему. Тѣло опять принимаетъ свою первоначальную форму и первоначальный объемъ, если, конечно, измѣненія не были настолько велики, чтобы заставить молекулы занять совершенно новыя положенія равновѣсія.

http://mathesis.ru

183. Далѣе, принимаютъ, что молекулы твердаго тѣла не находятся въ покоѣ, а совершаютъ колебанія около положенія равновѣсія. Скорость и размѣры этихъ колебаній зависятъ отъ температуры тѣла или, вѣрнѣе говоря,—температура опредѣляется величиною и скоростью колебаній, такъ какъ теплота, содержащаяся въ тѣлѣ, какъ было сказано выше, есть не что иное, какъ движеніе молекулъ.—Когда твердое тѣло нагрѣвается, то колебанія молекулъ становятся интенсивнѣе,—они становятся больше и слѣдуютъ другъ за другомъ чаще. Касаясь тѣла, мы ощущаемъ эти болѣе сильныя колебанія его молекулъ, какъ болѣе высокую температуру. Нервъ, передающій ощущеніе тепла, получаетъ отъ молекулъ тѣла съ болѣе высокой температурой болѣе частые и болѣе сильные толчки, чѣмъ отъ тѣла съ болѣе низкой температурой. Второе слѣдствіе усиленія движеній состоитъ въ томъ, что молекулы при своихъ колебаніяхъ удаляются отъ положенія равновѣсія больше, чѣмъ до этого. Вслѣдствіе этого тѣло при болѣе высокой температурѣ занимаетъ бо̀льшее пространство,—другими словами, тѣло при нагрѣваніи расширяется.

184. Когда тѣло расширяется, то теплота, вообще говоря, совершаетъ при этомъ двоякую работу. Именно, если поверхность тѣла испытываетъ какое-либо давленіе, напримѣръ, давленіе атмосферы, то, расширяясь, тѣло должно совершать работу. Въ самомъ дѣлѣ, поверхность тѣла должна, перемѣщаясь, преодолѣвать непрерывно дѣйствующее давленіе (ср. § 166). Сверхъ этой такъ называемой внѣшней работы должна быть произведена и внутренняя работа, производящая расширеніе. Молекулы переходятъ въ новыя положенія равновѣсія, но сила сцѣпленія не позволяетъ имъ распасться. При переходѣ молекулъ въ новыя положенія имъ приходится преодолѣвать силу сцѣпленія. Нужная для этого работа, которую должна совершить теплота, и есть внутренняя работа. Однако, у твердыхъ тѣлъ на совершеніе обоихъ указанныхъ родовъ работы затрачивается лишь незначительная часть сообщенной теплоты. Большая же часть теплоты обусловливаетъ повышеніе температуры, т. е. повышеніе энергіи движенія молекулъ.

185. При дальнѣйшемъ нагрѣваніи и при продолжающемся расширеніи молекулы наконецъ удаляются другъ отъ друга на такое разстояніе, что сила сцѣпленія не въ состояніи больше удерживать ихъ колебанія около постояннаго положенія равновѣсія. Хотя молекулы продолжаютъ оказывать притягательное дѣйствіе другъ на друга, но это не мѣшаетъ имъ перемѣщаться другъ относительно друга. Тѣло уже теряетъ свою опредѣленную форму,—оно переходитъ въ жидкое состояніе. Этотъ переходъ наступаетъ въ тотъ моментъ, когда разстоянія между молекулами перешли извѣстный предѣлъ, т. е. когда колебанія молекулъ достигли опредѣленной величины и скорости. Однако, сила сцѣпленія у различныхъ твердыхъ тѣлъ различна, вслѣдствіе чего они плавятся не при одномъ и томъ же состояніи движенія молекулъ. Но одно и то же твердое тѣло плавится, наоборотъ, всегда при одинаковомъ состояніи молекулярнаго движенія, т. е. при одной и той же температурѣ. Точка плавленія твердаго тѣла постоянна.

Однако, точка плавленія, какъ мы видѣли, зависитъ отъ давленія, подъ которымъ находится твердое тѣло. Такъ, напримѣръ, ледъ таетъ при температурѣ ниже 0^0 (ср. § 45), если онъ находится подъ большимъ давленіемъ. Наоборотъ, точка плавленія сѣры съ увеличеніемъ давленія повышается (§ 46). Это находится въ связи съ измѣненіемъ объема, сопровождающимъ плавленіе. Ледъ приперехо̀дѣ въ жидкое

http://mathesis.ru

состояніе сжимается, сѣра же, наоборотъ, расширяется (§ 46). Вслѣдствіе увеличенія давленія объемъ льда уменьшается и молекулярное измѣненіе, составляющее плавленіе, можетъ поэтому произойти при болѣе низкой температурѣ, т. е. при меньшей энергіи молекулярнаго движенія. Объемъ сѣры тоже уменьшается подъ давленіемъ. Но вслѣдствіе этого молекулярное измѣненіе тѣла здѣсь затрудняется. Оно требуетъ болѣе значительной энергіи молекулярнаго движенія, т. е. точка плавленія должна повыситься.—Тутъ, однако, возникаетъ затрудненіе при изложенномъ объясненіи, что явленіе плавленія состоитъ въ удаленіи молекулъ другъ отъ друга. Дѣйствительно, если объемъ льда при плавленіи уменьшается, то его молекулы, очевидно, должны сближаться. А въ то же время онѣ при этомъ должны менѣе зависѣть другъ отъ друга. Однако, это противорѣчіе не затрагиваетъ собственно механической теоріи тепла, какъ это легко видѣть, если представить себѣ слѣдующій круговой процессъ. Въ цилиндрѣ находится нѣкоторое количество воды и на нее давитъ поршень, напримѣръ, въ 500 *кг* вѣсомъ. Воду охлаждаютъ и замораживаютъ; при этомъ она расширяется и подымаетъ поршень. Послѣ этого поршень удаляютъ и нагрѣваютъ цилиндръ. Ледъ таетъ и получается вода, имѣющая температуру 0^0. При этомъ круговомъ процессѣ была затрачена работа на поднятіе поршня въ 500 *кг*. Само собою разумѣется, что на эту работу была израсходована теплота; такимъ образомъ, на плавленіе льда была затрачена теплота въ бо́льшемъ количествѣ, чѣмъ та, которую вода выдѣлила при замерзаніи. Притокъ тепла былъ больше, чѣмъ его отдача. Но при каждомъ круговомъ процессѣ этого рода температура, которую имѣетъ сообщенная теплота, должна быть выше, чѣмъ температура отданной теплоты. Теплота должна ~~имѣть~~ испытывать „паденіе температуры“. Такъ какъ въ данномъ случаѣ теплота была сообщена при температурѣ 0^0, то она должна быть выдѣлена при температурѣ ниже 0^0, т. е. точка плавленія льда лежала ниже 0^0. Давленіе, произведенное на воду, вызвало, такимъ образомъ, пониженіе точки плавленія. У сѣры имѣетъ мѣсто противоположное явленіе, такъ какъ она при плавленіи расширяется.

186. Независимо отъ того, повышается ли точка плавленія подъ давленіемъ или понижается, плавленіе при всѣхъ условіяхъ требуетъ значительной внутренней работы, которая затрачивается не на повышеніе энергіи молекулярнаго движенія, а на преодолѣніе силы сцѣпленія твердаго тѣла. Чтобы расплавить одинъ килограммъ льда, нужно затратить 80 единицъ тепла (§ 48), что соотвѣтствуетъ работѣ въ $80 \times 424 = 33920$ килограмметровъ. Что это количество теплоты расходуется только на то, чтобы произвести внутреннее молекулярное измѣненіе, видно изъ того, что во время плавленія температура не повышается.—Для другихъ тѣлъ теплота плавленія, т. е. внутренняя работа при плавленіи, меньше (§ 50).

При переходѣ тѣлъ изъ жидкаго состоянія въ твердое происходитъ то же самое молекулярное измѣненіе, но въ обратномъ направленіи. Въ этомъ случаѣ работа не должна затрачиваться на молекулы,—послѣднія сами совершаютъ работу, которая проявляется въ видѣ теплоты, т. е. какъ энергія молекулярнаго движенія.

187. На свободной поверхности жидкости происходитъ испареніе (§ 55), т. е. молекулы жидкости переходятъ въ газообразное состояніе. Пока молекулы принадлежатъ жидкости, онѣ удерживаются вмѣстѣ благодаря силѣ сцѣпленія, которая, правда, значительно меньше, чѣмъ въ твердыхъ тѣлахъ, но все же весьма замѣтна. Требуется нѣкоторая сила, чтобы отдѣлить другъ отъ друга частицы жидкости. Если частицы

http://mathesis.ru

жидкости предоставить самимъ себѣ, то онѣ собираются въ капли. Молекулы жидкости совершаютъ движеніе подобно молекуламъ твердаго тѣла. Форма совершаемыхъ ими колебаній опредѣляется молекулярнымъ вліяніемъ сосѣднихъ частицъ. На поверхности жидкости имѣютъ мѣсто своеобразныя условія, такъ какъ въ этихъ условіяхъ молекула окружена жидкостью не со всѣхъ сторонъ. Вслѣдствіе этого молекулы на поверхности совершаютъ колебанія не такъ, какъ молекулы внутри жидкости. Онѣ отдѣляются отъ жидкости и уходятъ въ воздухъ (или въ безвоздушное пространство). Подобное улетучиваніе молекулъ съ поверхности жидкости происходитъ постоянно; происходитъ оно тѣмъ чаще, чѣмъ быстрѣе колебанія, совершаемыя молекулами. Если пространство надъ жидкостью ограничено, то оторвавшіяся молекулы ударяются о стѣнки и отбрасываются отъ нихъ подобно упругимъ шарамъ, т. е. такъ, что уголъ паденія равенъ углу отраженія. Нѣкоторыя изъ молекулъ возвращаются обратно на поверхность жидкости и снова смѣшиваются съ нею. Если въ опредѣленный промежутокъ времени въ жидкость возвращается столько же молекулъ, сколько ихъ улетучивается изъ нея за тотъ же промежутокъ времени, то получается стаціонарное состояніе и пространство надъ жидкостью насыщено паромъ (ср. § 72). Паръ производитъ давленіе на разграничивающую поверхность и это „давленіе пара“ вызывается ударами, производимыми молекулами о стѣнки, которыми ограниченъ взятый объемъ.

188. Для того чтобы образованіе пара происходило не только на поверхности жидкости, но и внутри ея, т. е. чтобы жидкость кипѣла (ср. § 74), необходимо повысить ея температуру, пока молекулы не начнутъ колебаться такъ сильно, что сила сцѣпленія, которой онѣ сдерживаются, будетъ преодолѣна и ихъ взаимное притяженіе будетъ уничтожено. Кромѣ силы сцѣпленія должно быть преодолѣно и внѣшнее давленіе на жидкость, которое также стремится удерживать молекулы другъ возлѣ друга. Вслѣдствіе этого точка кипѣнія повышается, когда внѣшнее давленіе увеличивается; она, напротивъ, понижается, когда давленіе уменьшается (§ 82). Когда говорятъ, что жидкость кипитъ, то это значитъ, что ея молекулы обладаютъ такой большой энергіей движенія, что отдѣляются отъ жидкости несмотря на силу сцѣпленія и на внѣшнее давленіе.

Для того же, чтобы это могло имѣть мѣсто, необходима значительная внутренняя работа, какъ и при плавленіи, и для перехода жидкости въ паръ нужно даже еще больше энергіи (или работы), чѣмъ для перехода тѣла изъ твердаго состоянія въ жидкое. Для того чтобы 1 *кг* воды при 100° превратился въ паръ, требуется 540 единицъ тепла (§ 75), что соотвѣтствуетъ работѣ въ $540 \times 424 = 228960$ килограмметровъ. „Лошадиная сила“ совершаетъ въ одну секунду 75 килограмметровъ работы. Слѣдовательно, внутренняя работа, которая нужна для превращенія въ паръ 1 *кг* воды при 100°, равна той работѣ, которую лошадь въ состояніи совершить въ $228960 : 75 = 3053$ секунды (50 мин. 53 сек.).

Когда паръ опять переходитъ въ жидкое состояніе, то эта внутренняя работа снова обнаруживается. Она проявляется въ видѣ увеличившагося молекулярнаго движенія (теплота при сжиженіи).

189. Для газовъ теорія молекулярнаго движенія развита до высокой степени совершенства, между прочимъ, Рудольфомъ Клаузіусомъ (§ 180). Обстоятельное изложеніе этой теоріи выходитъ изъ рамокъ настоящей книги, такъ какъ оно требуетъ

http://mathesis.ru

математическихъ выкладокъ. Мы приведемъ здѣсь лишь нѣкоторые выводы этой „кинетической теоріи газовъ“.

Принимаютъ, что молекулы газа (напримѣръ, воздуха) находятся въ непрерывномъ движеніи, при томъ не въ колебательномъ, какъ это имѣетъ мѣсто въ жидкихъ и твердыхъ тѣлахъ, а въ прямолинейномъ. Когда воздухъ находится въ закрытомъ сосудѣ, его молекулы ударяютъ о стѣнки сосуда и, такъ какъ удары быстро слѣдуютъ другъ за другомъ и происходятъ одновременно въ большомъ количествѣ, то они проявляются въ видѣ непрерывно дѣйствующаго давленія. Если уменьшить объемъ воздуха вдвое (не измѣняя его температуры), то единица поверхности стѣнки сосуда получаетъ въ теченіе такого же промежутка времени вдвое больше толчковъ. Вслѣдствіе этого давленіе удваивается (законъ Бойля I, § 257). Если же нагрѣть воздухъ, не давая ему расширяться, то толчки становятся сильнѣе, такъ какъ скорость молекулъ становится больше. Поэтому давленіе увеличивается съ температурой (ср. § 34). То же самое имѣетъ мѣсто для всѣхъ газовъ. Болѣе подробное разсмотрѣніе этихъ соотношеній, какъ мы увидимъ дальше, имѣетъ большое значеніе для современнаго представленія о внутреннемъ строеніи тѣлъ.

http://mathesis.ru

http://mathesis.ru

Магнитизмъ

http://mathesis.ru

http://mathesis.ru

Магнитизмъ — Стрѣлка склоненій

Открытія и свѣдѣнія приблизительно до 1600 года.

190. Руды играли въ жизни культурныхъ народовъ древности большую роль и были предметомъ внимательныхъ изслѣдованій, такъ какъ изъ рудъ добывались металлы, которые были необходимы для изготовленія земледѣльческихъ орудій и оружія.

Особенно большое вниманіе обратили на себя съ древнѣйшихъ временъ нѣкоторыя желѣзныя руды тѣмъ, что онѣ обладали свойствомъ притягивать желѣзо и руду, содержащую желѣзо. Древнѣйшіе греческіе писатели были знакомы съ желѣзной притягивающей рудой, похожей на камень, и называли ее „тотъ камень“ въ отличіе отъ обыкновенныхъ камней и рудъ. Аристотель разсказываетъ, что Ѳалесъ Милетскій полагалъ, будто въ „камнѣ“ есть душа, отъ которой исходитъ притяженіе, ибо только одушевленные предметы способны вызывать движеніе. Въ старыхъ греческихъ сочиненіяхъ эта удивительная руда именовалась также „Геркулесовымъ камнемъ“. Этимъ именемъ хотѣли, очевидно, указать на таинственную и мощную силу камня, которой подвластно даже крѣпкое желѣзо.

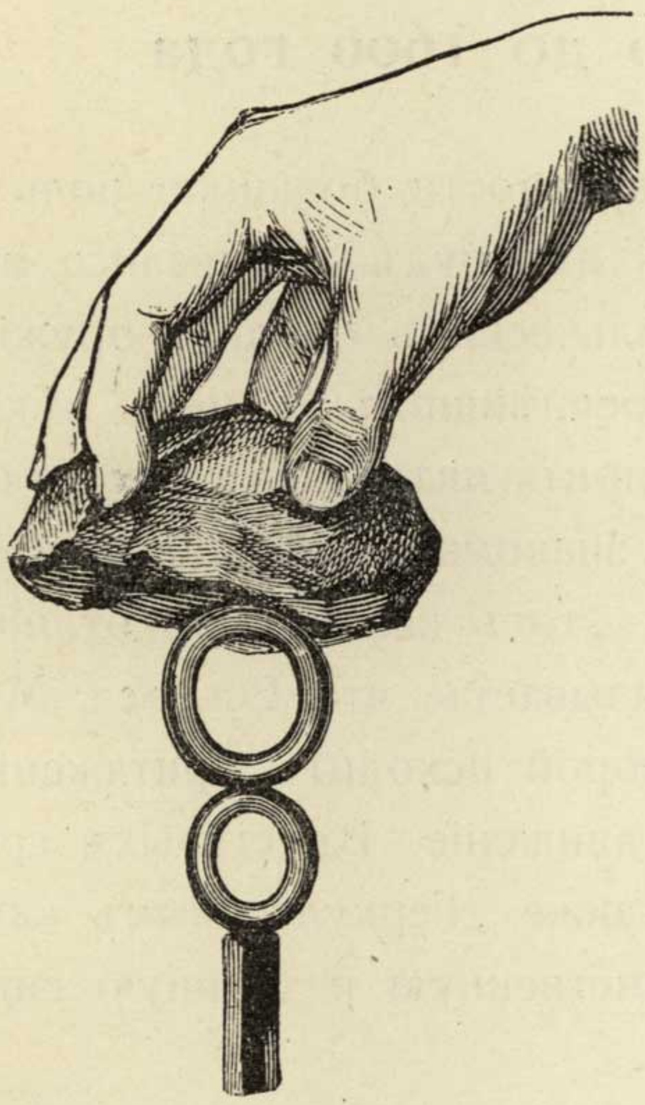
Впослѣдствіи эти названія вышли изъ употребленія и притягивающее желѣзо получило имя „Магнита“ и „Магнитнаго камня“, вѣроятно по своему первоначальному мѣстонахожденію вблизи города Магнезіи въ Малой Азіи.

191. Греческіе философы и писатели упоминаютъ о магнитномъ камнѣ, какъ объ удивительномъ произведеніи природы. Указаніемъ на магнитъ пользовались и философъ, желавшій привести примѣръ непонятнаго, и поэтъ для изображенія чуднаго. Впрочемъ, у грековъ было очень поверхностное представленіе о свойствахъ магнита. Все, что они знали о немъ, изложено въ діалогѣ Платона, гдѣ Сократъ говоритъ: „Этотъ камень не только самъ притягиваетъ желѣзное кольцо,—онъ одаряетъ своей силой и кольцо, такъ что оно въ свою очередь можетъ притягивать другое кольцо, и такимъ образомъ могутъ висѣть другъ на другѣ множество колецъ или кусковъ желѣза; это происходитъ только благодаря силѣ магнитнаго камня“. Греки, слѣдовательно, замѣтили, что магнитный камень притягиваетъ желѣзо и въ то же время намагничиваетъ его, такъ что одно кольцо удерживаетъ другое (рис. 154). Но съ удаленіемъ магнита и желѣзо теряетъ свою силу, такъ какъ послѣдняя была въ желѣзѣ только благодаря тому, что магнитъ былъ вблизи.—Греки, вѣроятно, знали также о томъ, что сила магнита проникаетъ и сквозь другія тѣла. Римлянинъ Лукрецій (95—55 до Р. Х.), ученикъ греческихъ философовъ, пишетъ, что куски желѣза, помѣщенные въ мѣдномъ горшкѣ, становятся магнитными, т. е. притягиваютъ другъ друга, если держать подъ горшкомъ магнитъ.

http://mathesis.ru

О магнитномъ камнѣ и его силѣ греки и римляне сложили, между прочимъ, множество разсказовъ, относя ихъ къ Индіи, которая уже въ началѣ нашей эры считалась страною чудесъ и о которой невѣроятное не только разсказывалось,—ему даже вѣрили. Плиній разсказываетъ о двухъ горахъ близъ рѣки Инда, изъ которыхъ одна обладала свойствомъ притягивать желѣзо, а другая отталкивала его. Человѣкъ, носящій подбитую желѣзомъ обувь, стоя на первой горѣ, не былъ поэтому въ состояніи поднять ногу, между тѣмъ какъ вторая гора отталкивала такую обувь съ непреодолимой силой. Крайне опасно было приблизиться къ первой горѣ на кораблѣ, такъ какъ гвозди вытягивались изъ досокъ корабля и послѣднія распадались.

Рис. 154



Притягательная сила магнитнаго камня.

192. Впрочемъ, намеки, которые содержатся въ древнѣйшихъ легендахъ, даютъ вѣрныя указанія постольку, поскольку рѣчь идетъ о томъ, гдѣ искать страну, въ которой свойства магнитнаго камня были извѣстны дольше всего. Самый восточный изъ старыхъ культурныхъ народовъ, китайцы, задолго до всѣхъ другихъ сумѣли дать магнитному камню полезное примѣненіе. Греки и римляне пользовались магнитнымъ камнемъ, какъ цѣлебнымъ средствомъ противъ меланхоліи, худобы, ревматизма, судорогъ; это основывалось, однако, лишь на суевѣрныхъ представленіяхъ о его силѣ. Такія средства такъ же безполезны, какъ употребленіе намагниченныхъ инструментовъ при леченіи зубныхъ, ушныхъ и глазныхъ болѣзней. И если въ старину думали, что постояннымъ ношеніемъ при себѣ магнита можно пріобрѣсти расположеніе окружающихъ и увлекательное краснорѣчіе, то и въ настоящее время можно встрѣтить подобныя идеи, которыя, разумѣется, недалеки отъ чистыхъ суевѣрій.—У китайцевъ магнитъ назывался „thsu schy“, т. е. любящій камень, „ибо онъ притягиваетъ къ себѣ желѣзо подобно тому, какъ нѣжная мать притягиваетъ къ себѣ своихъ дѣтей“. Китайцамъ было извѣстно, что брусокъ изъ закаленнаго желѣза (стали), будучи натертъ магнитнымъ камнемъ, и самъ становится магнитнымъ на продолжительное время. При удаленіи магнитнаго камня сила такого магнита не исчезаетъ.—Затѣмъ, древнимъ китайцамъ былъ хорошо извѣстенъ фактъ, что стрѣлка изъ закаленнаго желѣза, намагниченная натираніемъ, устанавливается довольно точно въ направленіи къ югу, если подвѣсить ее такъ, чтобы она могла свободно двигаться въ горизонтальномъ положеніи. Если вывести стрѣлку изъ этого направленія, то она всегда возвращается къ нему (рис. 155).

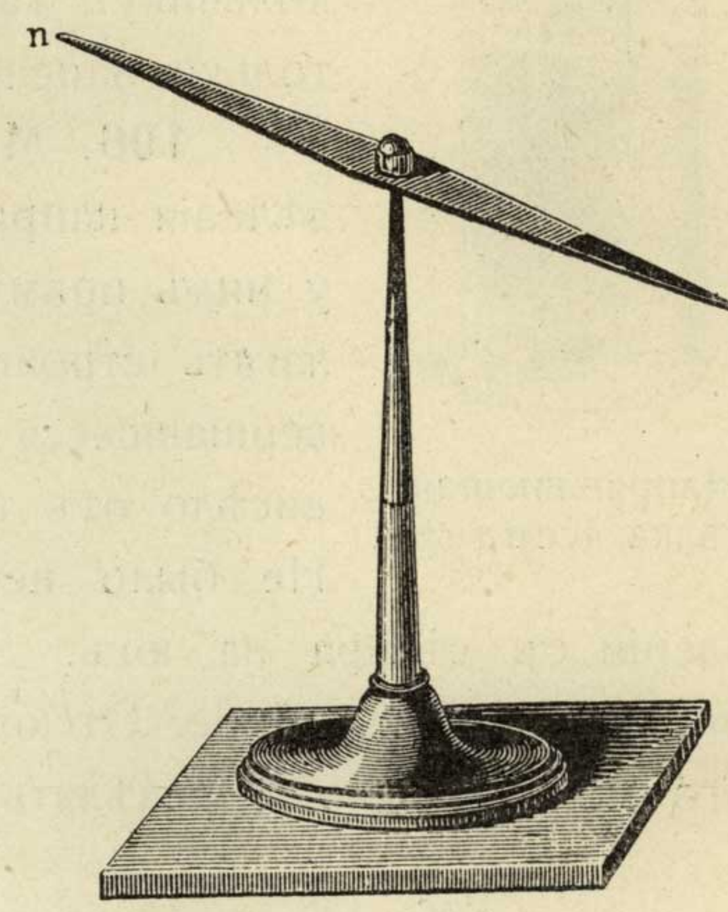
193. Какимъ именно образомъ были сдѣланы эти открытія, достовѣрно неизвѣстно. Сами китайцы утверждаютъ, что направляющая стрѣлка, которую теперь называютъ компасомъ, была у нихъ въ употребленіи раньше, чѣмъ за 2000 лѣтъ до Р. Х. Это, однако, быть можетъ, и преувеличено. Зато не подлежитъ сомнѣнію, что китайскій писатель Гіу-Чинъ говоритъ, въ своемъ знаменитомъ словарѣ, въ 121 году до Р. Х., что магнитъ „есть имя камня, который можетъ дать направленіе иглѣ“.

Стрѣлка компаса у китайцевъ называлась „указателемъ юга“. Вѣроятно древ-

http://mathesis.ru

нѣйшимъ „указателемъ юга“ была не намагниченная желѣзная стрѣлка (искусственный магнитъ), а магнитный камень. Въ самомъ дѣлѣ, нетрудно такъ обтесать естественный магнитный камень, чтобы онъ, будучи положенъ на доску, плавающую на водѣ, могъ служить направляющей стрѣлкой. Вслѣдствіе направляющей силы магнитнаго камня доска приметъ такое положеніе, что опредѣленная линія камня расположится съ сѣвера на югъ. Рис. 156 представляетъ такую направляющую стрѣлку. Линія сѣвера-юга идетъ отъ одной звѣздочки къ другой. Доска не притягивается къ краямъ сосуда, такъ какъ сила магнитизма производитъ только вращеніе (ср. § 21[illegible]).

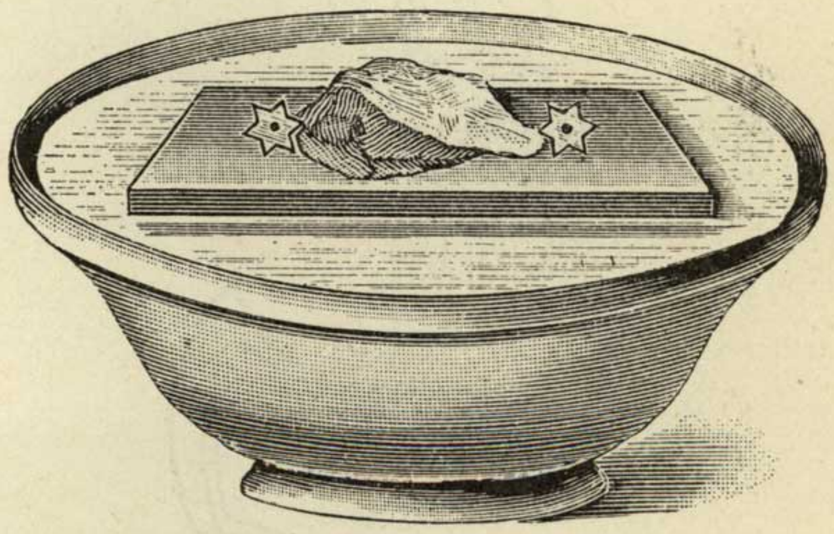
Рис. 155



Направляющая стрѣлка.

194. Европейцы познакомились съ компасомъ вѣроятно черезъ посредство арабовъ. Древнѣйшее описаніе его принадлежитъ арабскому ученому Байлаку (1242). Онъ пишетъ: „Мореходы, плавающіе по Сирійскому морю, желая опредѣлить направленіе странъ свѣта въ темную ночь, когда звѣзды невидимы, ставятъ на кораблѣ внизу, куда не задуваетъ вѣтеръ, наполненную водою бочку. На воду пускаютъ стрѣлку, укрѣпленную на деревянномъ крестѣ, и если этотъ крестъ можетъ свободно двигаться, то стрѣлка указываетъ сѣверъ и югъ“.—Такого рода стрѣлка движется, однако, нѣсколько медленно, такъ какъ вода оказываетъ значительное сопротивленіе ея движенію. Кеплеръ (I, § 72), писавшій о компасѣ, далъ его поплавку нѣсколько иную форму, при которой сопротивленіе тренія въ водѣ оказываетъ меньшее вліяніе. Для этого онъ помѣщалъ стрѣлку на грушеобразную подставку (рис. 157) и, кромѣ того, уменьшалъ сопротивленіе тренія еще тѣмъ, что для жидкости бралъ смѣсь воды со спиртомъ.

Рис. 156



Указывающій направленіе магнитный камень (рисунокъ относится къ 1646 году).

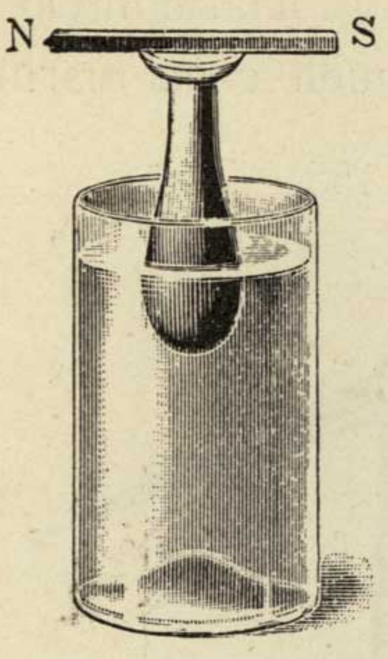
195. Древнѣйшія китайскія повѣствованія объ „указателѣ юга“ связаны, однако, не съ плавающими стрѣлками, а съ такъ называемыми магнитными повозками, которыя по сказанію были въ употребленіи за 2000 лѣтъ до нашей эры, но затѣмъ забылись и вновь появились только въ III вѣкѣ послѣ Р. Х. Магнитная повозка имѣла указатель юга, скрытый въ человѣческой фигуркѣ, которая могла легко поворачиваться вокругъ вертикальной оси. Эта фигурка дѣлалась изъ нефрита, минерала, встрѣчающагося въ Китаѣ, и своей вытянутой рукой указывала на югъ, куда бы ни повернулась сама повозка. Въ ея рукѣ была скрыта направляющая магнитная стрѣлка. Рис. 158 и 159 изображаютъ китайскій „указатель юга“ и магнитную повозку изъ Японіи, повелители которой познакомились съ этимъ полезнымъ приборомъ у китайцевъ въ VII вѣкѣ.

Съ помощью такихъ повозокъ китайскіе императоры могли находить путь по обширнымъ необитаемымъ пространствамъ своего царства. Именно, стрѣлка посто-

http://mathesis.ru

янно указывала направленіе относительно странъ свѣта, въ которомъ двигалась повозка. Повозка снабжалась, кромѣ того, счетчикомъ, который опредѣлялъ число оборотовъ колесъ. При прохожденіи каждой мили маленькая фигурка ударяла въ колокольчикъ, а послѣ каждой десятой мили другая фигурка ударяла по другому колокольчику. Такимъ образомъ магнитная повозка опредѣляла не только направленіе, но и длину пройденнаго пути.

Рис. 157



Направляющая стрѣлка Кеплера.

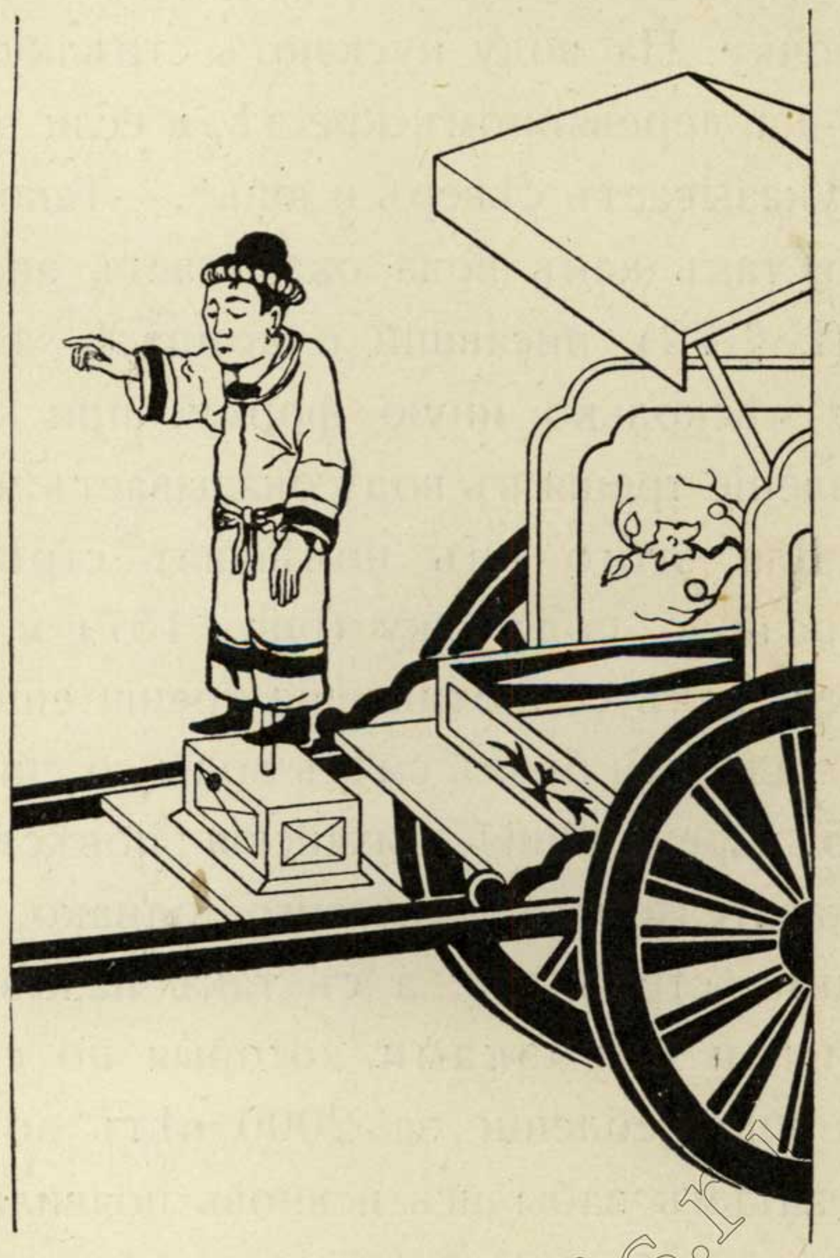
196. Магнитная стрѣлка служила у китайцевъ и для опредѣленія направленій въ каждомъ данномъ мѣстѣ. Такъ, она нашла у нихъ примѣненіе при опредѣленіи того, какъ слѣдуетъ располагать строящійся домъ. Это было торжественное дѣйствіе, совершавшееся магомъ. Счастье дома въ значительной степени зависѣло отъ точности, съ которою опредѣлялось это направленіе. Не было необходимости располагать домъ непремѣнно въ направленіи съ сѣвера на югъ. Другія направленія также могли имѣть свое значеніе и свое счастливое вліяніе. Отсюда вошло въ употребленіе дѣленіе, при помощи котораго можно было опредѣлять различныя направленія относительно сѣвера и юга.

Рис. 158



Китайскій „указатель юга“.

Рис. 159



Магнитная повозка изъ Японіи.

Рис. 160 представляетъ древнее японское дѣленіе круга. Магнитная стрѣлка имѣетъ форму стрѣлы и остріемъ указываетъ на югъ. Внутренній кругъ даетъ четыре страны свѣта: югъ, востокъ, сѣверъ и западъ. Внѣшній кругъ раздѣленъ на 12 частей, изъ которыхъ каждая снабжена знакомъ, означающимъ имя какого-нибудь животнаго. Тѣ же двѣнадцать знаковъ находятся и на рис. 161 китайскаго дѣленія съ тремя кругами, изъ которыхъ самый внѣшній представляетъ животныхъ, отвѣчающихъ упомянутымъ двѣнадцати знакамъ. Знакомъ сѣвера служитъ крыса, востока заяцъ, юга

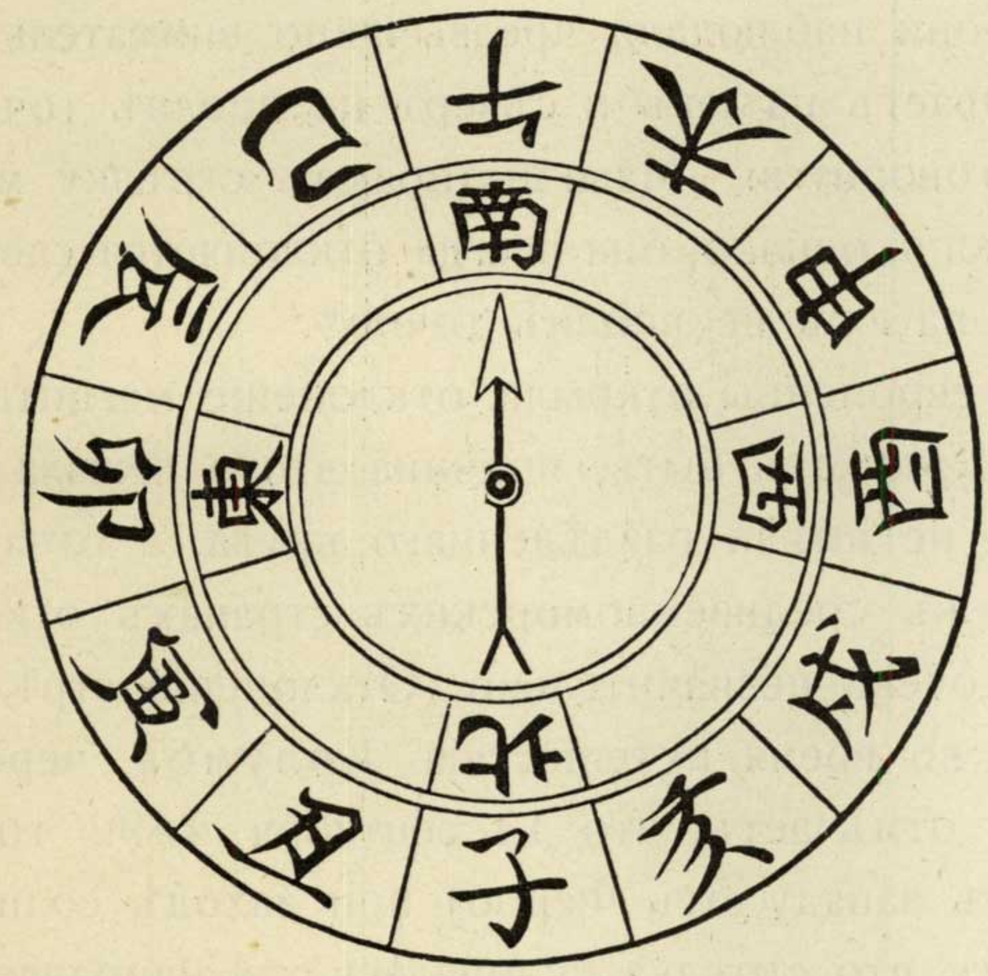
http://mathesis.ru

лошадь и запада курица. Самый внутренній кругъ рис. 161 содержитъ научные знаки для восьми направленій вѣтра: сѣвера, сѣверо-востока, востока и т. д.

197. У мореплавателей компасъ вошелъ въ употребленіе только позднѣе. Нѣтъ, однако, ничего невѣроятнаго въ томъ, что китайцы уже въ VIII вѣкѣ по Р. Х. во время своихъ дальнихъ морскихъ путешествій изъ Кантона черезъ Цейлонъ до Персидскаго залива правили своими судами при помощи компаса. Въ XIII вѣкѣ компасъ былъ у китайскихъ моряковъ во всеобщемъ употребленіи. Въ одномъ китайскомъ сочиненіи, относящемся къ 1297 году, курсы кораблей указываются именно относительно направленія магнитной стрѣлки.

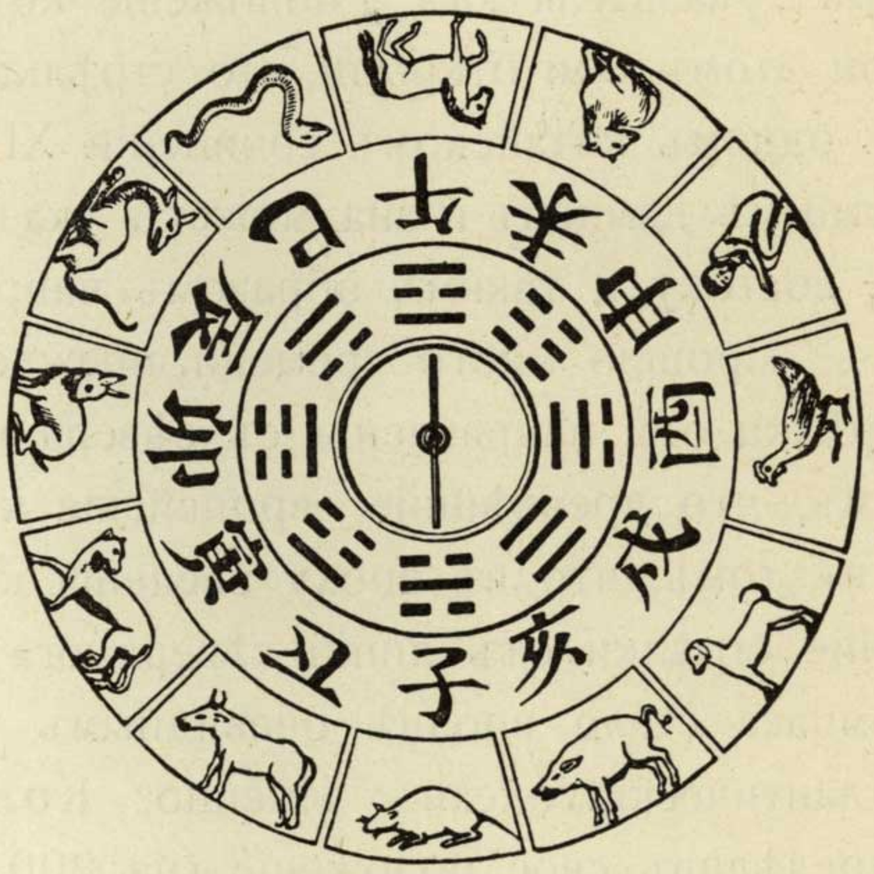
Въ томъ же столѣтіи компасъ сталъ извѣстенъ и у народовъ Средиземнаго моря, а слухи о немъ проникли во Францію по крайней мѣрѣ лѣтъ за сто до того, такъ какъ о компасѣ упоминается въ одномъ стихотвореніи Гюйо де Провена,

Рис. 160



Магнитная стрѣлка съ японскими дѣленіями круга.

Рис. 161



Китайское дѣленіе круга.

относящемся къ 1190 году. Такимъ образомъ, разсказы о томъ, что Флавіо Джойа изъ Пазитано, близъ Амальфи, изобрѣлъ компасъ въ началѣ XIV вѣка и ввелъ его въ Европѣ, принадлежатъ къ области фантазіи. Если за Джойей и есть вообще какія-нибудь заслуги въ этомъ отношеніи, то развѣ только въ томъ, что онъ ввелъ компасъ на неаполитанскихъ судахъ. Почитаніе его памяти на этомъ основаніи, впрочемъ, очень понятно, такъ какъ введеніе компаса чрезвычайно содѣйствовало развитію мореплаванія.

198. Открытіе, что магнитная стрѣлка устанавливается по направленію съ сѣвера на югъ, тотчасъ же должно было повлечь за собою и дальнѣйшія открытія. Китайцы окрашивали конецъ стрѣлки, указывающій на югъ, красной краской. Такимъ образомъ, имъ было хорошо извѣстно, что два конца стрѣлки существенно отличаются одинъ отъ другого и что на югъ указываетъ всегда одинъ и тотъ же конецъ. Это свойство стрѣлки позднѣе повело къ тому, что направленный къ югу конецъ назвали южнымъ, а другой — сѣвернымъ полюсомъ.

Разумѣется, китайцы знали, что оба эти полюса притягиваютъ желѣзо, но въ

http://mathesis.ru

то же время они, конечно, замѣчали, что по отношенію другъ къ другу два полюса обнаруживаютъ нѣчто совсѣмъ особенное. Именно, если двѣ направляющихъ стрѣлки находятся одна возлѣ другой, то трудно не замѣтить, что два южныхъ полюса, равно какъ и два сѣверныхъ, отталкиваются другъ отъ друга, тогда какъ южный и сѣверный полюсы притягиваются другъ къ другу. Одноименные полюсы взаимно отталкиваются, разноименные взаимно притягиваются. Такимъ образомъ, существуетъ не только магнитное притяженіе (дѣйствіе полюса магнита на желѣзо), но и магнитное отталкиваніе. Эти удивительныя особенности впервые упоминаются у Лукреція (§ 19[illegible]), а греческій историкъ Плутархъ (50—120) разсказываетъ, что египтяне давали магниту имена Горуса и Тифона, символовъ соединенія и отдѣленія. Отсюда можно заключить, что египтянамъ были извѣстны какъ притяженіе, такъ равно и отталкиваніе полюсовъ магнита. Этотъ интересный вопросъ нѣсколько разъяснился только послѣ Возрожденія наукъ въ Западной Европѣ.

199. Китайцы особенно хорошо умѣли примѣнять магнитную стрѣлку въ качествѣ „указателя юга“, положеніе котораго они наблюдали чрезвычайно внимательно. При этомъ они открыли, что стрѣлка указываетъ на югъ и сѣверъ не вполнѣ точно. Въ одномъ китайскомъ сочиненіи XI вѣка говорится: „Маги натираютъ стрѣлку магнитнымъ камнемъ и она можетъ указывать югъ; однако, она всегда отклоняется слегка къ востоку и такимъ образомъ направлена на югъ не вполнѣ точно“.

Прошло много времени, прежде чѣмъ европейцы открыли отклоненіе магнитной стрѣлки отъ направленія съ сѣвера на югъ. Можетъ быть, причина этого лежала въ томъ, что древнѣйшіе европейскіе компасы не имѣли раздѣленнаго круга, а отчасти и въ томъ, что въ эпоху введенія компаса въ средиземноморскихъ странахъ отклоненіе стрѣлки отъ линіи сѣвера-юга было очень незначительно. Отклоненіе стрѣлки компаса стало вполнѣ очевиднымъ только во время путешествія Колумба черезъ Атлантическій океанъ. Именно, Колумбъ отмѣчаетъ, что 14 сентября 1492 года, опредѣливъ свое положеніе (на 200 миль къ западу отъ Ферро) при заходѣ солнца, онъ къ своему большому удивленію замѣтилъ, что стрѣлка уклонялась отъ направленія сѣвера-юга на $5^1/_2{}^0$ къ западу. Удивительно, что онъ не упоминаетъ, что въ то время въ Средиземномъ морѣ стрѣлка уклонялась приблизительно на 6^0 къ востоку. Едвали можно допустить, что такое отклоненіе оставалось еще неизвѣстнымъ въ 1492 году. Такимъ образомъ неясно, удивлялся ли Колумбъ тому, что направленіе стрѣлки не совпадало съ линіей сѣвера-юга, или же тому, что стрѣлка уклонялась къ западу, а не къ востоку. Но что бы ни означало его удивленіе, во всякомъ случаѣ его замѣчаніе обратило вниманіе на вопросъ о направленіи магнитной стрѣлки. Что Колумбъ по своемъ возвращеніи несомнѣнно дѣлалъ наблюденія надъ направленіемъ компасной стрѣлки, ясно изъ письма, написаннаго имъ нѣсколько лѣтъ спустя съ Гаити; въ немъ есть такое мѣсто: „Всякій разъ, когда я плыву изъ Испаніи въ (Вестъ-) Индію, я замѣчаю, отойдя на 100 морскихъ миль къ западу отъ Асорскихъ острововъ, необычайное измѣненіе въ движеніи небесныхъ тѣлъ, въ температурѣ воздуха и въ поверхности моря. Я тщательно отмѣчалъ эти измѣненія и нашелъ, что компасъ, до того отклонявшійся къ сѣверо-востоку, теперь переходилъ къ сѣверо-западу, а когда я выходилъ изъ этой области, которая представляла какъ бы горный хребетъ, то море оказывалось наполненнымъ водорослями, похожими на еловыя вѣтки и съ плодами вродѣ фисташекъ“.

http://mathesis.ru

Колумбъ упоминаетъ здѣсь о переходѣ отклоненія стрѣлки отъ линіи сѣвера-юга изъ восточнаго въ западное, какъ объ одномъ изъ многихъ измѣненій въ явленіяхъ природы, которыя наблюдаются по пути изъ Стараго въ Новый Свѣтъ. Такимъ образомъ, онъ не только знаетъ, что магнитная стрѣлка обнаруживаетъ отклоненіе (такъ называемое склоненіе), но и то, что это отклоненіе въ различныхъ мѣстахъ различно. Въ Испаніи стрѣлка отклонялась къ востоку, а въ извѣстномъ мѣстѣ по ту сторону Асорскихъ острововъ она „перешла“ къ западу. Слѣдовательно, гдѣ-то на пройденномъ пути должно было быть мѣсто, гдѣ стрѣлка указывала какъ разъ на сѣверъ, гдѣ, иными словами, склоненіе было равно нулю.

Независимо отъ Колумба склоненіе магнитной стрѣлки вѣроятно наблюдали Джованни Кабото и его сынъ Себастіанъ при своемъ плаваніи черезъ Атлантическій океанъ въ 1497 году, когда они, годомъ раньше Колумба, достигли американскаго материка.

200. Такимъ образомъ великія путешествія съ цѣлью открытій привели къ знакомству со склоненіемъ. Эти интересныя и чрезвычайно важныя для мореплаванія явленія были открыты моряками. Но было трудно заставить ученыхъ признать эти факты. Ихъ нельзя было согласовать съ теоріями ученыхъ, исходившихъ изъ предположенія, что магнитная стрѣлка направлена какъ разъ на сѣверъ. Пятьдесятъ лѣтъ спустя послѣ перваго путешествія Колумба одинъ испанскій математикъ утверждалъ, что наблюденныя уклоненія нужно отнести исключительно къ плохому устройству взятыхъ компасныхъ стрѣлокъ. Но такъ какъ каждое новое плаваніе доставляло все-таки прежніе результаты, то достовѣрность этихъ наблюденій не могла долго оставаться подъ сомнѣніемъ. Къ этому прибавилось, что существованіе склоненія наблюдалось въ различныхъ мѣстахъ и на сушѣ. Географъ Генрихъ Лорети упоминаетъ о склоненіи въ одной статьѣ, относящейся къ 1536 году, а въ томъ же году Георгъ Гартманнъ опредѣлилъ величину склоненія для Нюрнберга и нашелъ, что она составляла $10^1/_4{}^0$ къ востоку.

Гартманнъ (1489—1564), бывшій сначала механикомъ, а затѣмъ священникомъ, объѣздилъ Италію и здѣсь также наблюдалъ положенія магнитной стрѣлки. Въ одномъ письмѣ (1544) къ герцогу Альбрехту Прусскому онъ писалъ, что склоненіе въ Нюрнбергѣ составляетъ 10^0, а въ Римѣ только 6^0.—Шестью годами позже (1550) профессоръ Фине изъ Парижа сообщилъ, что склоненіе здѣсь было равно 8^0 къ востоку, а Робертъ Норманъ (§ 201) заявляетъ, что въ 1576 году склоненіе въ Лондонѣ было восточное въ 11^0.

201. Такимъ образомъ, къ концу XVI вѣка склоненіе магнитной стрѣлки было извѣстно для многихъ мѣстъ. Что же было причиной этого явленія?

Во времена Колумба былъ общепринятъ взглядъ, что на небѣ существуетъ притягивающая магнитъ точка. Самъ Колумбъ думалъ, что магнитную стрѣлку направляетъ Полярная звѣзда. Но высказывались также и другія предположенія. Фракасторо (I, § 103) допускалъ, напримѣръ, что притягательный пуиктъ лежитъ на землѣ, притомъ на далекомъ сѣверѣ, а Олай Магнусъ (1490—1558), умершій въ Италіи, фантазировалъ, что вблизи сѣвернаго полюса находятся большія магнитныя горы, могущія вытягивать гвозди изъ кораблей, а также направлять магнитную стрѣлку. Здѣсь вновь сказались древнегреческія повѣствованія объ индійскихъ магнитныхъ горахъ.

Упомянутый Робертъ Норманъ также придерживался взгляда, что направля-

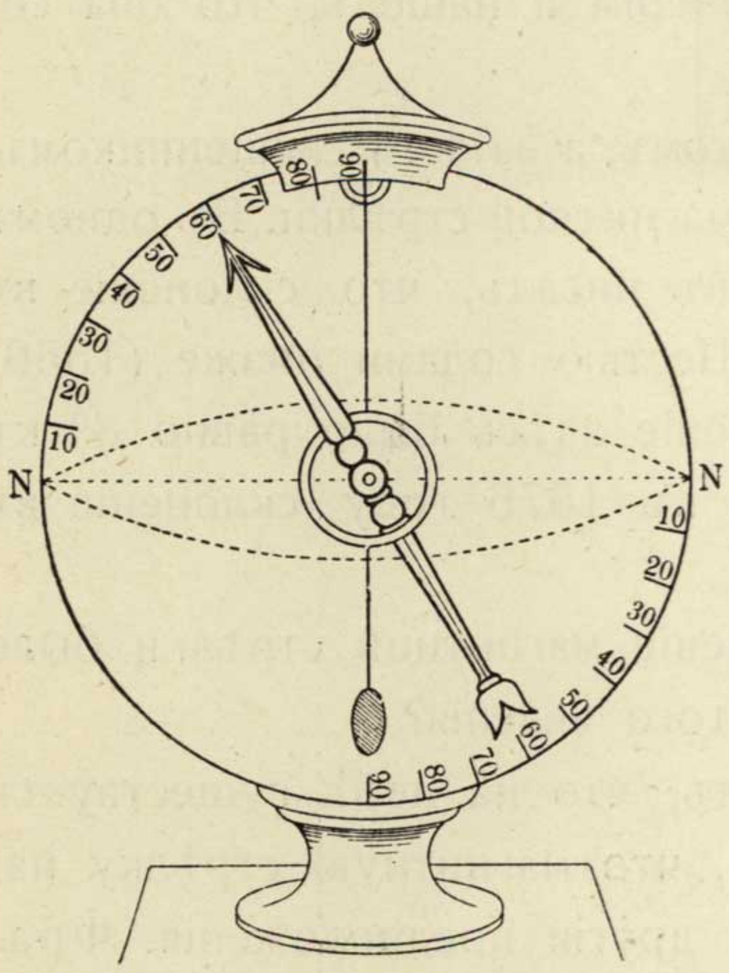
http://mathesis.ru

ющая сила исходитъ изъ какой-то точки земли. Но у него уже было больше основаній для такого допущенія.

Морякъ и компасный мастеръ, Норманъ вѣроятно зналъ, что сѣверный конецъ стрѣлки въ высокихъ широтахъ опускается внизъ. Во всякомъ случаѣ, наклонъ компасной стрѣлки (такъ называемое наклоненіе) наблюдался уже Георгомъ Гартманномъ, который пишетъ въ упомянутомъ выше письмѣ къ герцогу Альбрехту приблизительно слѣдующее: „Кромѣ того я нахожу, что магнитная стрѣлка уклоняется не только отъ полуночи къ востоку, но также и внизъ. Это можно показать слѣдующимъ образомъ. Я подвѣшиваю стрѣлку длиною въ палецъ такъ, чтобы она могла оставаться горизонтальной на остреѣ. Въ такомъ случаѣ ни одинъ изъ концовъ не наклоняется къ землѣ. Но какъ только я натираю одинъ ея конецъ (магнитомъ), она не остается уже горизонтальной, а больше или меньше наклоняется внизъ. О причинѣ этого я не могу ничего сообщить Вашему Королевскому Высочеству“. Норманъ изслѣдовалъ этотъ вопросъ лучше, подвѣсивъ стрѣлку такъ, что она могла свободно вращаться около оси, проходившей черезъ ея центръ тяжести. Этимъ исключалась возможность вращенія стрѣлки подъ вліяніемъ собственнаго вѣса. Норманъ нашелъ, что подвѣшенная такимъ образомъ стрѣлка наклонялась сѣвернымъ концомъ внизъ такъ, что образовала съ горизонтальной линіей уголъ въ $70^0\ 50'$.—Это ясно показывало, что притягивающая точка находилась не на небѣ, а скорѣе въ какомъ-то мѣстѣ внутри земли.

202. Мы познакомились теперь съ двумя различно подвѣшенными магнитными стрѣлками. Одна изъ нихъ вращается въ горизонтальной плоскости, безразлично, лежитъ ли она на остреѣ (рис. 155) или же на плавающемъ въ водѣ предметѣ (рис. 157). Другая вращается въ вертикальной плоскости. Первая называется стрѣлкой склоненій (компасная стрѣлка), другая—стрѣлкой наклоненій.—Направленіе, по которому устанавливается стрѣлка склоненій, называется магнитнымъ меридіаномъ. Чтобы опредѣлить наклоненіе, нужно знать положеніе магнитнаго меридіана, ибо стрѣлка наклоненія занимаетъ правильное положеніе только тогда, когда получаетъ возможность вращаться въ той вертикальной плоскости, въ которой лежитъ магнитный меридіанъ.

Рис. 162



Стрѣлка наклоненій 1646 года.

Впрочемъ, если подвѣсить магнитную стрѣлку на тонкой и гибкой нити, то она устанавливается въ магнитномъ меридіанѣ сама по себѣ и принимаетъ правильное наклоненіе (рис. 162).

203. Предположеніе Нормана, что притягивающая точка лежитъ ниже поверхности земли, было обосновано значительно лучше, чѣмъ представленіе о магнитныхъ горахъ вблизи географическаго сѣвернаго полюса, но Норманъ не занимался больше этимъ вопросомъ и не высказывалъ своихъ взглядовъ подробнѣе.—Конечно, очень возможно, что онъ и не составилъ себѣ опредѣленнаго взгляда на природу этого притяженія, а удовольствовался замѣчаніемъ, что направленіе магнитной стрѣлки указываетъ на притяженіе не вверхъ, а внизъ.

http://math.thesis.ru

Большинство изслѣдователей въ своихъ работахъ должны довольствоваться разборомъ мелкихъ деталей; только немногимъ удается подмѣтить болѣе глубокую связь между постепенно накопляющимися наблюденіями отдѣльныхъ фактовъ. Въ области магнитизма такой итогъ всѣмъ свѣдѣніямъ о магнитахъ и ихъ свойствахъ подвелъ Вильямъ Гильбертъ, который сильно подвинулъ впередъ эту отрасль науки.

Вильямъ Гильбертъ

204. Вильямъ Гильбертъ родился въ 1540 году въ Кольчестерѣ. Онъ изучалъ медицину въ Оксфордѣ и въ Кэмбриджѣ, путешествовалъ заграницей, основался въ 1573 году въ качествѣ практикующаго врача въ Лондонѣ и сталъ лейбъ-медикомъ королевы Елисаветы. Въ этомъ положеніи онъ имѣлъ достаточно времени и возможности заниматься научными изслѣдованіями и работами. Онъ сталкивался также съ лордомъ Фрэнсисомъ Бэкономъ (I, § 167), которому несомнѣнно обязанъ многими указаніями въ своихъ работахъ. Во всякомъ случаѣ онъ блестяще осуществлялъ идеи Бэкона относительно изслѣдованія природы—гораздо лучше самого Бэкона.

Гильбертъ былъ достойнымъ современникомъ Галилея. Проникнутый тѣмъ же духомъ изслѣдованія, онъ, правда, не былъ равенъ Галилею въ искусствѣ объяснять результаты, полученные изъ опытовъ; зато онъ превосходилъ его въ искусствѣ экспериментированія. Чѣмъ Галилей былъ для уже обогащенныхъ матеріаломъ старыхъ наукъ астрономіи и механики, тѣмъ Гильбертъ сталъ для новыхъ, мало развитыхъ наукъ о магнитизмѣ и объ электричествѣ. Благодаря работамъ Гильберта магнитизмъ и электричество, которые до тѣхъ поръ были только „искусствами“, стали науками.—Онъ умеръ въ 1603 году.

205. Книга Гильберта о магнитизмѣ (и электричествѣ) появилась въ Лондонѣ въ 1600 году. Въ этой книгѣ онъ говоритъ, что земля есть большой магнитъ, подобно стальному магниту имѣющій сѣверный и южный полюсы. Эти магнитные полюсы, по его мнѣнію, совпадали съ географическими. Онъ не говоритъ, какъ говорилъ Норманъ, объ отдѣльномъ центрѣ магнитнаго притяженія, а разсматриваетъ весь земной шаръ, какъ одинъ магнитъ, который и долженъ дѣйствовать, какъ магнитъ, на всякій другой магнитъ, находящійся на его поверхности.—Чтобы доказать вѣрность своей теоріи, Гильбертъ намагнитилъ стальной шаръ такъ, что въ немъ получилось два полюса въ двухъ діаметрально противоположныхъ точкахъ. Этотъ шарообразный магнитъ онъ назвалъ терреллой, т. е. маленькой землей; приближая къ ней маленькую легко подвижную магнитную стрѣлку, онъ могъ наглядно показать тѣ разнообразныя положенія магнитной стрѣлки, которыя она принимаетъ въ различныхъ точкахъ земной поверхности. При помощи терреллы Гильбертъ показалъ, что наклоненіе уменьшается по направленію отъ полюсовъ къ экватору. На самомъ экваторѣ оно равно нулю, т. е. стрѣлка расположена горизонтально. Въ то время была извѣстна величина наклоненія только для Лондона. Въ Парижѣ она была измѣрена лишь въ 1671 году, а въ Берлинѣ въ 1755 году. Такимъ образомъ у Гильберта не было наблюденій, на которыя онъ могъ бы опереться. Онъ вывелъ свои заключенія при помощи терреллы и его заключенія оказались вѣрными. Наклоненіе къ югу уменьшается, а къ сѣверу увеличивается. Пять лѣтъ спустя послѣ смерти

Гильберта, а именно, въ 1608 году путешественникъ Гёдсонъ, по имени котораго былъ названъ Гёдсоновъ заливъ, наблюдалъ, что подъ сѣверной широтой $75^0\,22'$ наклоненіе было равно $89^0\,30'$, тогда какъ въ Лондонѣ оно въ то же время составляло 72^0.

206. Что касается положенія магнитныхъ полюсовъ, то мнѣніе Гильберта, что они совпадаютъ съ географическими, оказалось ошибочнымъ. Онъ не имѣлъ до-

Рис. 163

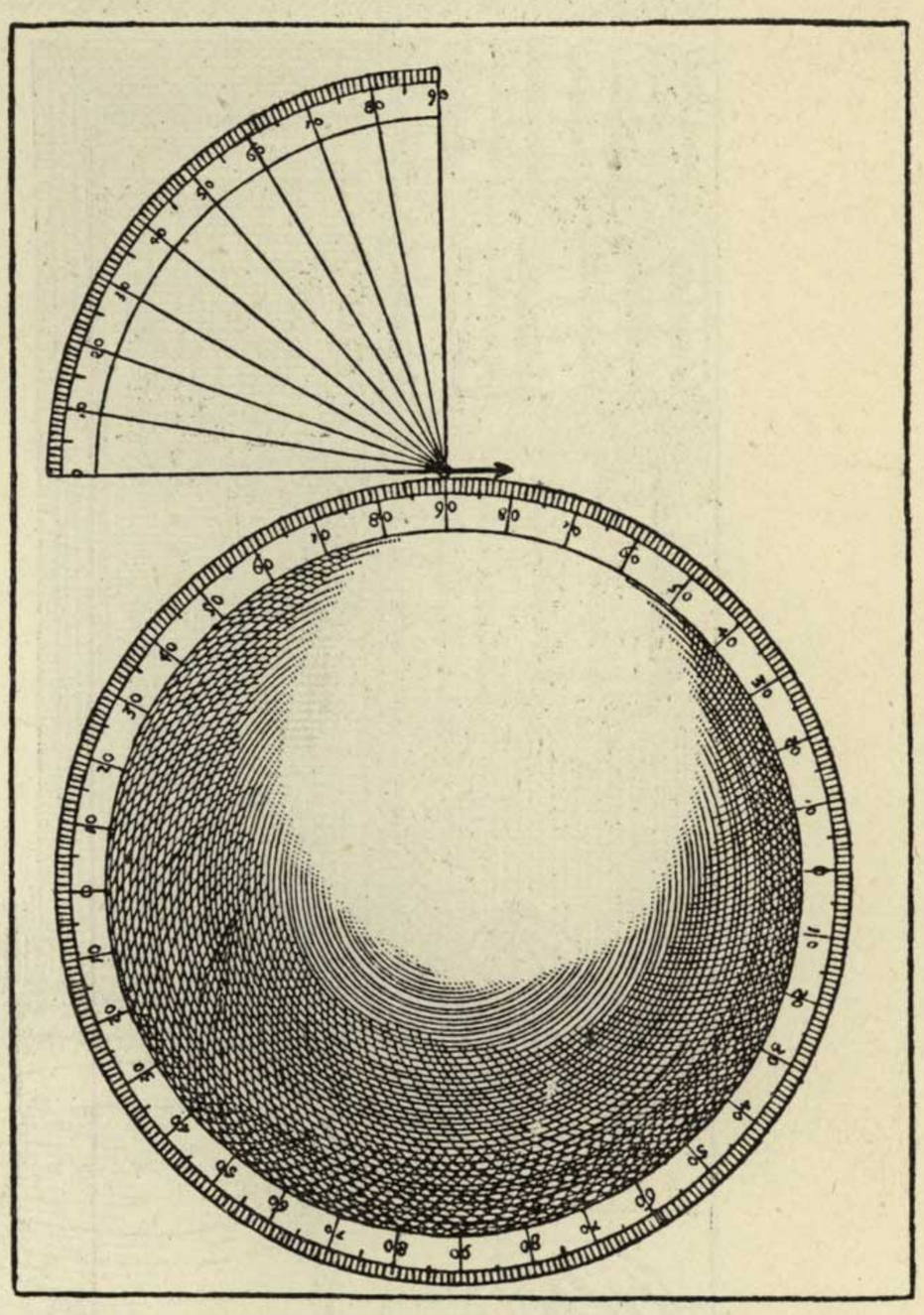


Ковка магнитовъ (изъ книги Гильберта „De Magnete“).

статочныхъ свѣдѣній о направленіи магнитной стрѣлки въ различныхъ мѣстахъ земли, чтобы быть въ состояніи получить правильные выводы. Магнитные полюсы не совпадаютъ съ географическими и магнитный экваторъ, т. е. та линія, на которой наклоненіе равно нулю, не совпадаетъ съ географическимъ экваторомъ. Распредѣленіе

магнитизма далеко не такъ правильно, какъ объ этомъ думалъ Гильбертъ на основаніи опытовъ со своей терреллой. Онъ думалъ, напримѣръ, что по наклоненію въ данномъ мѣстѣ можно опредѣлить его географическую широту (высоту полюса, I, § 46). Однако, какъ мы тотчасъ увидимъ, этого на самомъ дѣлѣ нѣтъ. Здѣсь, быть можетъ, Гильбертъ слишкомъ увлекся мыслью о громадномъ значеніи, которое имѣла бы для мореплаванія возможность опредѣлять широту по наклоненію. Онъ во всякомъ случаѣ ясно понималъ, что неправильная форма земной поверхности оказываетъ большое вліяніе на величину склоненія, а слѣдовательно, и на горизонтальное положеніе магнитной стрѣлки. Здѣсь онъ дѣлалъ допущеніе, въ которомъ должны были найти себѣ объясненіе наблюденія, производившіяся во время морскихъ путешествій въ Америку. Именно, онъ принималъ, что магнитна только твердая часть земного шара, вода же не магнитна. Поэтому въ Европѣ и въ прилегающей къ европейскому берегу части Атлантическаго океана склоненіе должно быть восточнымъ, такъ какъ здѣсь большія массы земли лежатъ на востокѣ. Но при бо̀льшемъ удаленіи вглубь океана стрѣлка должна показывать какъ разъ на сѣверъ, такъ какъ здѣсь возмущающее вліяніе материковыхъ массъ незамѣтно. Съ приближеніемъ къ американскому берегу стрѣлка должна отклоняться отъ сѣвера къ западу.

Рис. 164



Террелла Гильберта (изъ книги Гильберта „De Magnete“).

207. Делла Порта, которому было извѣстно, что магнитная стрѣлка въ различныхъ мѣстахъ обнаруживаетъ различныя отклоненія, въ 1589 году предложилъ сдѣлать путешествіе черезъ Атлантическій океанъ съ 10-футовой компасной стрѣлкой, непрерывно наблюдая ея положеніе. Это дало бы таблицу склоненій за время всего путешествія. Впослѣдствіи мореплаватели могли бы пользоваться этой таблицей и опредѣлять географическую долготу по величинѣ склоненія магнита. Гильбертъ обратилъ вниманіе на то, что это предложеніе не имѣло практическаго значенія, такъ какъ такая таблица имѣла бы значеніе только въ томъ случаѣ, еслибы корабль во время плаванія въ точности придерживался тѣхъ самыхъ широтъ, по которымъ шелъ корабль съ длинной магнитной стрѣлкой. Въ самомъ дѣлѣ, склоненіе въ различныхъ мѣстахъ подъ однимъ и тѣмъ же градусомъ долготы можетъ быть очень различно и въ сѣверныхъ широтахъ оно измѣняется гораздо быстрѣе, чѣмъ въ южныхъ.—Въ настоящее время склоненія и наклоненія для всей земной поверхности извѣстны намъ гораздо точнѣе, чѣмъ во время Гильберта. Однако, для опредѣленія географическаго положенія, т. е. для полученія долготы и широты того мѣста, въ которомъ находится судно, знаніе этого не имѣетъ никакого значенія. Зато, если извѣстны дол-

http://mathesis.ru

гота и широта даннаго мѣста, то знаніе склоненія даетъ превосходное средство опредѣлить курсъ корабля.

208. Во времена Гильберта взгляды Коперника на мірозданіе привлекали всеобщее вниманіе. Всякій, занимавшійся естествознаніемъ, долженъ былъ занять то

Рис. 165



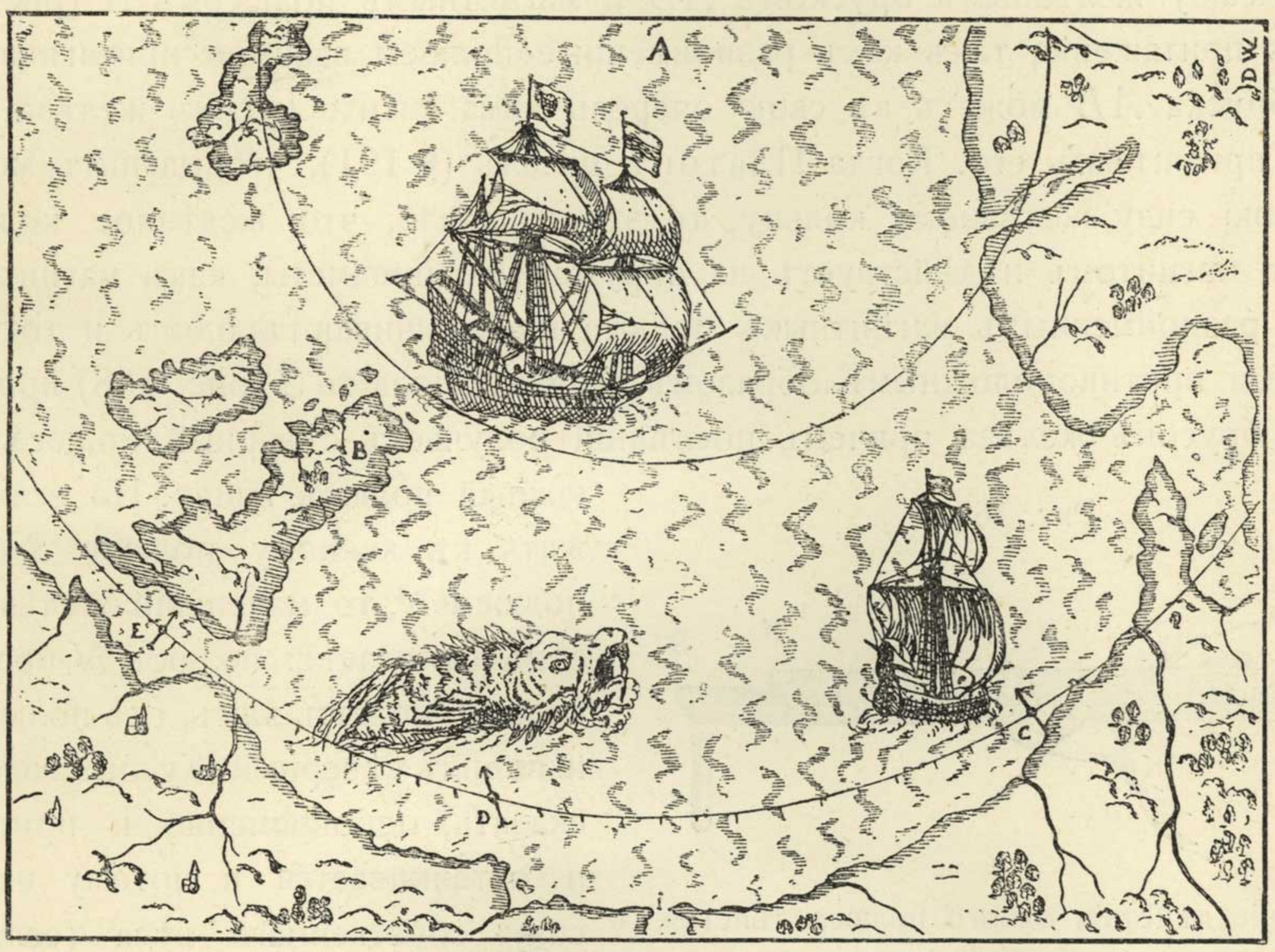
Стрѣлка наклоненій, укрѣпленная въ деревянномъ шарѣ и свободно плавающая въ водѣ (изъ книги Гильберта „De Magnete“).

или иное положеніе въ этомъ важномъ вопросѣ. Какъ легко себѣ представить, Гильбертъ былъ приверженцемъ Коперника, какъ и Галилей. Чтеніе книги Гильберта подвинуло Галилея заняться изслѣдованіями о магнитизмѣ. Такъ, онъ задалъ вопросъ, не будетъ ли „свободный“ магнитъ вращаться около своей собственной оси. Будь это такъ, вращеніе земли около ея оси объяснялось бы тѣмъ, что земля есть боль-

шой магнитъ. Это мнѣніе являлось общераспространеннымъ во времена Гильберта, но самъ онъ на основаніи своихъ изслѣдованій пришелъ къ результату, что вращеніе земли вызывается не ея магнитизмомъ.

209. Уже раньше замѣчали, что вертикально стоящіе бруски желѣза становятся магнитными, и именно такъ, что внизу получается сѣверный полюсъ, а вверху южный. Приблизивъ легкую магнитную стрѣлку къ такому желѣзному бруску, Гильбертъ убѣдился въ томъ, что онъ дѣйствительно имѣлъ свои магнитные полюсы. Внизу притягивался южный полюсъ стрѣлки, а вверху ея сѣверный полюсъ.

Рис. 166



Карта Гильберта (изъ книги „De Magnete“), на которой указано направленіе магнитной стрѣлки.

Какимъ же образомъ получается магнитизмъ въ вертикальномъ брускѣ? Гильбертъ отвѣчаетъ на этотъ вопросъ слѣдующимъ образомъ: если держать желѣзный брусокъ вблизи южнаго полюса магнита, то и самъ брусокъ обращается въ магнитъ, причемъ на концѣ, обращенномъ къ южному полюсу, появляется сѣверный полюсъ, а на другомъ концѣ бруска южный. Слѣдовательно, если *S* (рис. 167) есть южный полюсъ, то въ желѣзномъ брускѣ въ *A* получается сѣверный полюсъ, а въ *B* южный. —Наоборотъ, еслибы брусокъ *AB* приближался концомъ *A* къ сѣверному полюсу, то въ *A* получился бы южный полюсъ, а въ *B* сѣверный.—Но совершенно такъ же, какъ магнитъ, дѣйствуетъ и земной шаръ, который, по мнѣнію Гильберта, есть большой магнитъ съ полюсами, совпадающими съ географическими. Поэтому вертикальный брусокъ (который, такимъ образомъ, имѣетъ приблизительно направленіе стрѣлки наклоненія) вслѣдствіе дѣйствія земного магнитизма долженъ становиться магнитнымъ, а такъ какъ на нижнемъ концѣ бруска образуется

Рис. 167



Желѣзо въ присутствіи магнита само дѣлается магнитнымъ.

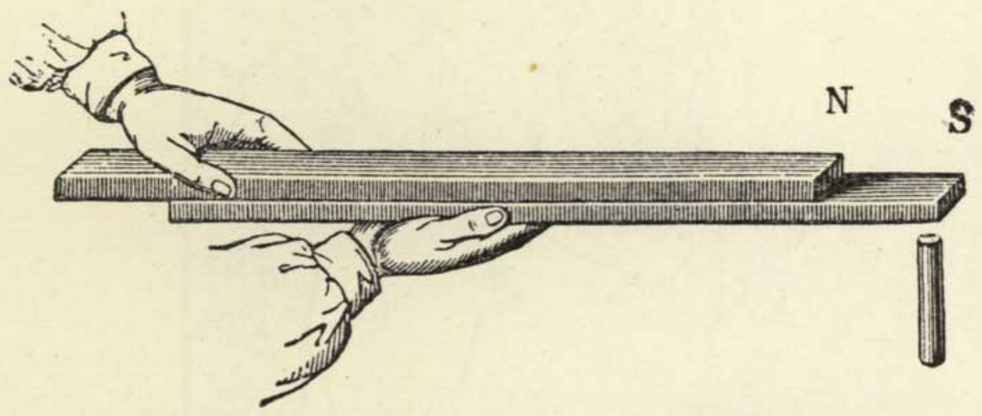
http://mathesis.ru

сѣверный полюсъ, то изъ двухъ магнитныхъ полюсовъ земли тотъ, который лежитъ на сѣверѣ, есть южный полюсъ, а лежащій на югѣ есть сѣверный полюсъ. Это согласуется и съ тѣмъ, что свободно висящая магнитная стрѣлка указываетъ своимъ сѣвернымъ полюсомъ на сѣверъ, а южнымъ на югъ, ибо одноименные полюсы взаимно отталкиваются, а разноименные взаимно притягиваются (§ 198).

210. Въ намагничивающей силѣ земли Гильбертъ видѣлъ подтвержденіе своего взгляда, что земля есть большой магнитъ, но удивительно, что онъ не высказывается ближе объ намагничиваніи желѣза отъ приближенія магнитнаго полюса, хотя притяженіе между магнитомъ и немагнитнымъ желѣзомъ находитъ себѣ объясненіе въ этомъ явленіи. Между желѣзнымъ брускомъ AB и магнитнымъ полюсомъ S (рис. 167) существуетъ притяженіе, такъ какъ разноименные полюсы взаимно притягиваются. Полюсъ B бруска AB можетъ въ свою очередь намагнитить кусокъ желѣза и, слѣдовательно, притягивать его. Когда Платонъ писалъ (§ 191), что магнитъ можетъ передать свою силу желѣзному кольцу, то это означало, что желѣзное кольцо само становится магнитомъ и дѣйствуетъ на окружающіе предметы, какъ магнитъ.

Два разноименныхъ магнитныхъ полюса намагничиваютъ одинъ и тотъ же кусокъ желѣза противоположнымъ образомъ. Южный полюсъ S (рис. 168) притягиваетъ маленькій брусокъ желѣза, причемъ послѣдній получаетъ сѣверный полюсъ вверху и южный полюсъ внизу. Но если приближать къ южному полюсу S сѣверный полюсъ N, то маленькій желѣзный брусокъ отпадаетъ: полюсъ N производитъ южный полюсъ тамъ, гдѣ полюсъ S производилъ сѣверный. Кусокъ желѣза, такъ сказать, одновременно и притягивается и отталкивается и потому падаетъ въ силу собственнаго вѣса (если N и S дѣйствуютъ одинаково сильно).

Рис. 168



Уничтоженіе дѣйствія одного полюса дѣйствіемъ другого.

211. Этотъ процессъ можно представить также нѣсколько иначе. Если одинъ конецъ желѣзнаго бруска одновременно является и сѣвернымъ и южнымъ полюсомъ, то, разумѣется, этотъ конецъ является „немагнитнымъ“.

Въ самомъ дѣлѣ, сѣверный полюсъ оказываетъ на желѣзо такъ же, какъ на магнитные полюсы, дѣйствіе, обратное дѣйствію южнаго. Притяженіе сѣвернаго полюса всегда сопровождается отталкиваніемъ южнаго и наоборотъ. Сѣверный магнитизмъ уничтожается южнымъ магнитизмомъ. Каждый изъ нихъ въ отдѣльности оказываетъ дѣйствіе, но если они дѣйствуютъ оба одновременно въ равныхъ „количествахъ“, то они взаимно уничтожаются, нейтрализуютъ другъ друга.—Такой способъ выраженія, конечно, влечетъ за собою то, что магнитизмъ начинаютъ представлять себѣ, какъ нѣчто вещественное. И уже съ тѣхъ поръ стали говорить, что магнитная сила производится „чѣмъ-то“, истекающимъ изъ магнита. Но представленіе объ этомъ „что-то“, истекающемъ изъ магнита, было чрезвычайно неопредѣленно. Со временъ Ньютона (I, § 289) уже нѣсколько больше освоились съ мыслью, что силы могутъ дѣйствовать на разстояніе безъ перемѣщенія вещества, и представленіе объ истеченіи „магнитнаго вещества“ исчезло. Зато удержалось представленіе, что само „магнитное вещество“, магнитный флуидъ, существуетъ.

http://mathesis.ru

212. Болѣе обстоятельную обработку этой теоріи въ серединѣ XVIII вѣка далъ, подъ вліяніемъ Франклиновой теоріи электричества, Францъ Эпинусъ (1724—1809).

Эпинусъ, родившійся въ Ростокѣ, былъ профессоромъ въ Берлинѣ и позднѣе въ Петербургѣ. Его работы касаются главнымъ образомъ электричества, а въ связи съ нимъ и магнитизма. Его теорія вкратцѣ состоитъ въ слѣдующемъ. Всѣ тѣла содержатъ магнитный флуидъ (родъ магнитнаго вещества) и въ „естественномъ“ состояніи, въ которомъ не замѣчается магнитныхъ притяженій или отталкиваній, тѣла содержатъ этотъ флуидъ въ относительно одинаковомъ количествѣ. Но этотъ флуидъ въ желѣзѣ можетъ скопиться въ одной части тѣла, тогда какъ другая часть совершенно или отчасти будетъ свободна отъ него. Въ такомъ состояніи желѣзо является магнитомъ. Сѣверный полюсъ есть то мѣсто, гдѣ магнитный флуидъ находится въ избыткѣ, а южный то, гдѣ флуидъ вполнѣ или отчасти отсутствуетъ. Два сѣверныхъ полюса отталкиваютъ другъ друга, т. е. между частями магнитнаго флуида имѣетъ мѣсто отталкиваніе. Сѣверный полюсъ притягиваетъ южный, т. е. „естественное“ состояніе стремится снова возстановиться. До сихъ поръ съ этими разъясненіями можно мириться. Но объяснить, почему одинъ южный полюсъ отталкиваетъ другой южный полюсъ, было трудно. Эпинусъ самъ признавалъ эту трудность и долженъ былъ довольствоваться утвержденіемъ, что частицы тѣлъ отталкиваются, если онѣ содержатъ меньше магнитнаго флуида, чѣмъ „въ естественномъ“ состояніи. Но это объясненіе очевидно очень искусственно. На самомъ дѣлѣ вся теорія Эпинуса является не больше, чѣмъ вспомогательнымъ средствомъ для запоминанія магнитныхъ явленій. Но и въ этомъ отношеніи она имѣла свое значеніе. Со всякой теоріей всегда связаны извѣстныя представленія. То обстоятельство, что желѣзо намагничивается простымъ приближеніемъ магнита, по теоріи Эпинуса означаетъ, что подъ вліяніемъ магнита магнитный флуидъ распредѣляется въ желѣзѣ извѣстнымъ образомъ. Соотвѣтственно этому говорятъ о намагничиваніи чрезъ вліяніе.

213. Теорія Эпинуса, допускавшая только одинъ флуидъ, позднѣе была вытѣснена другой теоріей, принимавшей два флуида. Робертъ Симмеръ (ум. 1763) ввелъ два электрическихъ флуида; въ соотвѣтствіи съ этимъ принимали и два магнитныхъ флуида, что позволяло проще объяснить взаимное отталкиваніе двухъ южныхъ полюсовъ. Послѣднее можно было объяснить теперь такъ же легко, какъ и отталкиваніе между двумя сѣверными полюсами согласно Эпинусу. Южный магнитизмъ отталкивается южнымъ магнитизмомъ, равно какъ сѣверный магнитизмъ отталкивается сѣвернымъ, тогда какъ южный и сѣверный магнитизмы взаимно притягиваются.

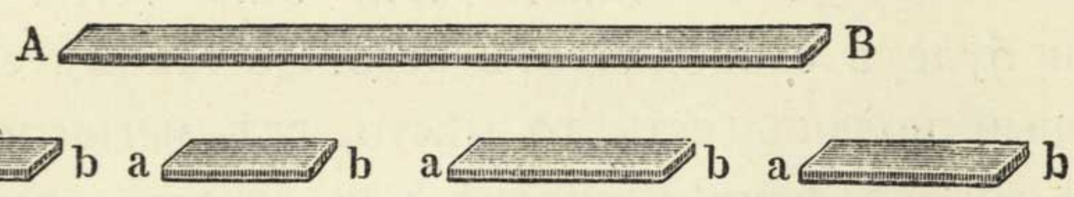
Въ „естественномъ“ состояніи желѣзо содержитъ оба рода магнитизма въ равныхъ количествахъ и повсюду равномѣрно распредѣленными; поэтому желѣзо немагнитно,—два противоположныхъ магнитизма уничтожаютъ дѣйствіе другъ друга. Но если приблизить къ желѣзу магнитный полюсъ, то сѣверный и южный магнитизмы отдѣлятся другъ отъ друга, а желѣзо обратится въ магнитъ и притомъ такъ, что въ немъ образуется полюсъ обратный тому, который къ нему приблизили (рис. 167).

214. Между тѣмъ Гильбертъ нашелъ, что, если разломить магнитъ на двѣ или на бо̀льшее число частей, то каждая часть представитъ маленькій магнитъ, который, подобно большому магниту, имѣетъ два полюса. Если, напримѣръ, раздѣлить магнитъ AB (рис. 169) на четыре части, то получится четыре маленькихъ магнита ab, и если

A есть сѣверный полюсъ, а *B* южный, то *a*, *a*, *a*, *a* будутъ сѣверные полюсы, а *b*, *b*, *b*, *b* южные. Такъ оно бываетъ всегда, какъ бы велико ни было число частей. Отсюда нужно заключить, что каждая, сколь угодно малая, часть магнита и сама есть магнитъ съ двумя полюсами.

215. Этотъ взглядъ былъ проведенъ до конца Шарлемъ Огюстеномъ Кулономъ, которому мы обязаны цѣлымъ рядомъ основныхъ работъ объ электричествѣ и магнитизмѣ. Кулонъ родился въ 1736 году въ Ангулемѣ. Онъ былъ саперным офицеромъ и въ такой должности отправился на Вестъ-Индскіе острова. Спустя де-

Рис. 169



Раздѣленіе магнита на малые магниты.

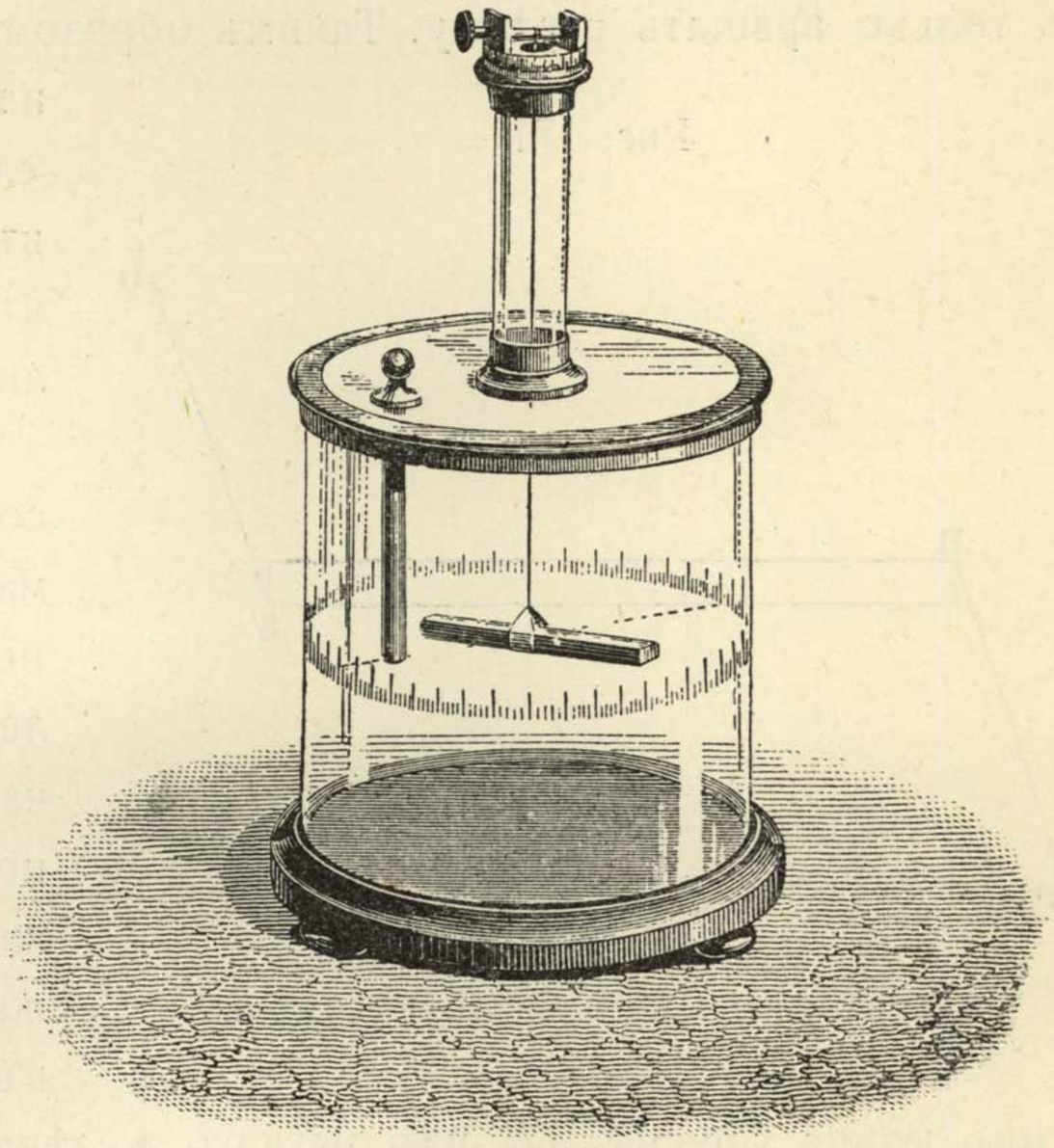
вять лѣтъ онъ снова вернулся во Францію, былъ назначенъ офицеромъ въ Рошфоръ, но по преимуществу занимался научными работами. Въ 1779 году онъ получилъ призъ Академіи за работу о судовомъ компасѣ, въ 1781 году сталъ членомъ Академіи, а въ 1785 году изобрѣлъ свои крутильные вѣсы, съ помощью которыхъ онъ могъ точно мѣрять очень слабыя силы, какъ электрическія и магнитныя притяженія и отталкиванія.—Когда разразилась революція, Кулонъ покинулъ Парижъ и отправился въ деревню, чтобы тамъ безъ помѣхи отдаться своимъ работамъ. Онъ вернулся назадъ только на третьемъ году республики. Въ 1806 году онъ умеръ, окруженный глубокимъ уваженіемъ, какъ человѣкъ и ученый.

216. Имя Кулона извѣстно больше всего благодаря построеннымъ имъ крутильнымъ вѣсамъ, которыми онъ пользовался при своихъ изслѣдованіяхъ надъ кручениемъ металлическихъ проволокъ. На нижнемъ концѣ изслѣдуемой проволоки подвѣшивалась палочка въ горизонтальномъ положеніи. Если не вращать проволоки, то палочка занимаетъ опредѣленное положеніе,—положеніе равновѣсія. Но если вращать палочку, то проволока закручивается и оказываетъ сопротивленіе. Если выпустить палочку, она начинаетъ колебаться. По величинѣ вѣса и формѣ палочки и по скорости колебаній можно вычислить величину сопротивленія закручиванію. Результатами этихъ изслѣдованій Кулонъ воспользовался затѣмъ для опытовъ съ крутильными вѣсами, при которыхъ измѣрялась величина магнитнаго притяженія и отталкиванія. Внутри стеклянной трубки подвѣшивается проволока, на нижнемъ концѣ которой подвѣшиваютъ магнитную стрѣлку (рис. 170), свободно колеблющуюся въ болѣе широкомъ стеклянномъ цилиндрѣ. Магнитная стрѣлка стремится установиться въ магнитномъ меридіанѣ и при помощи особаго приспособленія вверху, такъ называемой головки (микрометра) закручиванія, нетрудно достичь того, что проволока не будетъ закручена, когда магнитная стрѣлка установится въ меридіанѣ. Теперь сквозь крышку стекляннаго цилиндра въ него вдвигается магнитный брусокъ такъ, что его сѣверный полюсъ помѣщается возлѣ сѣвернаго полюса стрѣлки. Эти два сѣверныхъ полюса отталкиваютъ другъ друга и величина отклоненія подвижнаго магнита можетъ быть отсчитана на дѣленіяхъ, которыя нанесены на стеклянный цилиндръ (см. рис. 170). Въ этомъ новомъ положеніи стрѣлка находится въ равновѣсіи, такъ какъ закручиваніе проволоки и земной магнитизмъ стремятся повернуть ее въ одну сторону, а взаимное

http://mathesis.ru

отталкиваніе двухъ сѣверныхъ полюсовъ дѣйствуетъ въ другую сторону.—Дѣйствіе земного магнитизма на стрѣлку въ наблюдаемомъ положеніи было измѣрено слѣдующимъ образомъ. Вставленный сквозь крышку магнитъ удалялся, такъ что стрѣлка снова устанавливалась въ магнитномъ меридіанѣ. Затѣмъ поворотомъ вращающейся головки стрѣлка снова приводилась въ предшествующее положеніе. Теперь сопротивленіе крученія и вращающая сила земного магнитизма уравновѣшивали другъ друга. Такъ какъ сопротивленіе крученія проволоки было извѣстно изъ предшествующихъ опытовъ, то это опредѣляло мѣру вращающей силы земного магнитизма. Отсюда величина отталкиванія между двумя сѣверными полюсами получалась, какъ сумма сопротивленія кручению и измѣренной вращающей силы земного магнитизма.—Затѣмъ вращеніемъ головки Кулонъ приводилъ стрѣлку въ равновѣсіе въ нѣсколькихъ другихъ положеніяхъ. Этимъ путемъ онъ нашелъ, что сила, съ которою отталкиваются другъ отъ друга полюсы, уменьшается съ увеличеніемъ разстоянія между ними и притомъ такъ, что на двойномъ разстояніи отталкиваніе уменьшается вчетверо, а на тройномъ въ девять разъ. Тому же закону слѣдуетъ и притяженіе между какимъ-нибудь сѣвернымъ и южнымъ полюсами. Такимъ образомъ, убываніе магнитной силы съ разстояніемъ подчиняется тому же закону, какому подчинено убываніе яркости (I, § 83), дѣйствіе теплового излученія, силы тяжести и, какъ мы увидимъ ниже, дѣйствіе электрическихъ силъ. Всѣ дѣйствія на разстояніи слѣдуютъ одному и тому же закону: величина силы убываетъ въ томъ же отношеніи, въ какомъ возрастаетъ квадратъ разстоянія.

Рис. 170



Крутильные вѣсы Кулона.

Такимъ образомъ Кулонъ доказалъ своими изслѣдованіями, что магнитныя (и электрическія) силы находятся въ извѣстномъ родствѣ съ другими силами природы (свѣтъ, теплота, тяжесть).

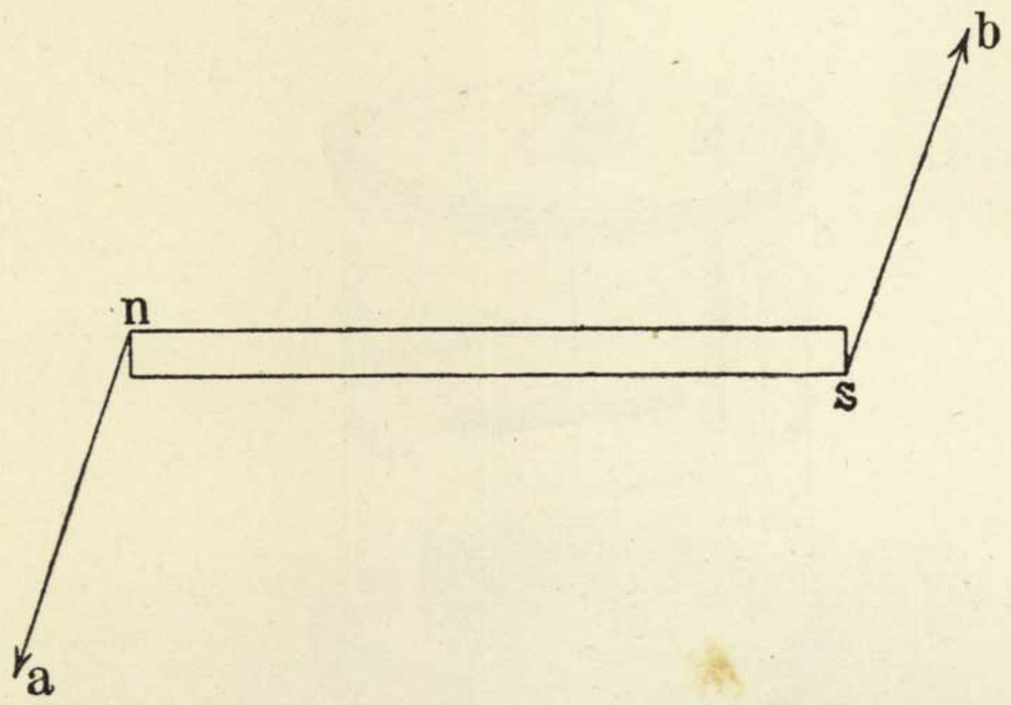
217. Кулонъ нашелъ и причину, по которой земной магнитизмъ не смѣщаетъ магнитную стрѣлку, а только вращаетъ ее. Въ самомъ дѣлѣ, если земля дѣйствуетъ подобно магниту, полюсы котораго лежатъ глубоко подъ поверхностью земли на сѣверѣ и на югѣ, то магнитная стрѣлка *ns* (рис. 171) будетъ подвергаться слѣдующему воздѣйствію этихъ полюсовъ: сѣверный полюсъ *n* магнитной стрѣлки будетъ отталкиваться сѣвернымъ магнитизмомъ земли съ силою, направленіе и величина которой пусть выражаются линіей *na*. Напротивъ, южный полюсъ *s* стрѣлки будетъ притягиваться сѣвернымъ магнитизмомъ земли и притомъ съ тою же силой, съ которою полюсъ *n* отталкивается, такъ какъ разстоянія полюсовъ *n* и *s* отъ той точки

http://mathesis.ru

внутренности земли, изъ которой исходитъ дѣйствіе сѣвернаго магнитизма, не отличаются замѣтно другъ отъ друга. Поэтому отталкиваніе въ *n* будетъ той же величины, какъ и притяженіе въ *s*. Но эти притяженіе и отталкиваніе имѣютъ прямо противоположныя направленія, такъ какъ линія отъ *n* къ магнитному полюсу земли параллельна линіи отъ *s* къ тому же полюсу. А двѣ силы одинаковой величины и противоположныхъ направленій могутъ производить только вращеніе стрѣлки, а не перемѣщеніе ея изъ одного мѣста въ другое.

То же самое относится и къ силѣ южнаго магнитизма земли, т. е. и она можетъ только вращать стрѣлку. Такимъ образомъ общее дѣйствіе земного магнитизма на стрѣлку состоитъ въ томъ, что послѣдняя вращается, пока не приходитъ въ опредѣленное положеніе, а именно въ магнитный меридіанъ, который различенъ для разныхъ мѣстъ (ср. § 202).

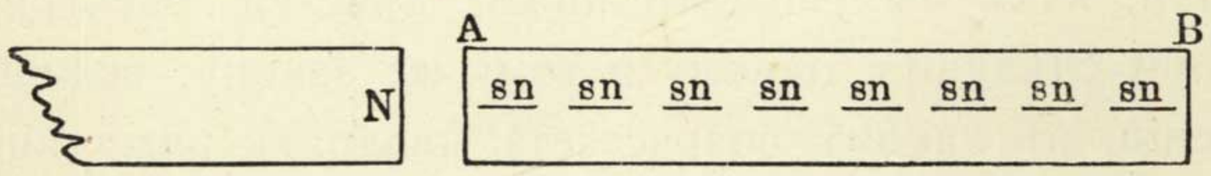
Рис. 171



Дѣйствіе земли на магнитную стрѣлку.

218. По мнѣнію Кулона магнитъ состоитъ изъ отдѣльныхъ маленькихъ магнитовъ. Въ каждомъ изъ нихъ сѣверный магнитизмъ, слѣдовательно, отдѣленъ отъ южнаго, въ каждой маленькой частицѣ желѣза есть оба магнитныхъ полюса. Въ ненамагниченномъ брускѣ желѣза, напротивъ того, двѣ магнитныхъ жидкости смѣшаны другъ съ другомъ въ частичкахъ желѣза. Если помѣстить противъ конца бруска *AB* изъ мягкаго желѣза (рис. 172) сѣверный полюсъ *N*, то сѣверный и южный магнитизмы въ частичкахъ желѣза отдѣлятся другъ отъ друга. Эти частички обратятся въ магниты, сѣверные полюсы которыхъ будутъ обращены къ концу *B*, а южные къ концу *A*. Чѣмъ сильнѣе полюсъ *N*, тѣмъ сильнѣе и полюсы малыхъ магнитовъ. Если удалить полюсъ *N*, то исчезнетъ и магнитизмъ въ *AB*, т. е. два рода магнитизма въ желѣзныхъ частичкахъ сольются. — Изъ этихъ соображеній слѣдуетъ, конечно, что каждая частичка желѣза должна содержать одинаковое количество сѣвернаго и южнаго магнитнаго флуида.

Рис. 172



Строеніе магнита по Кулону.

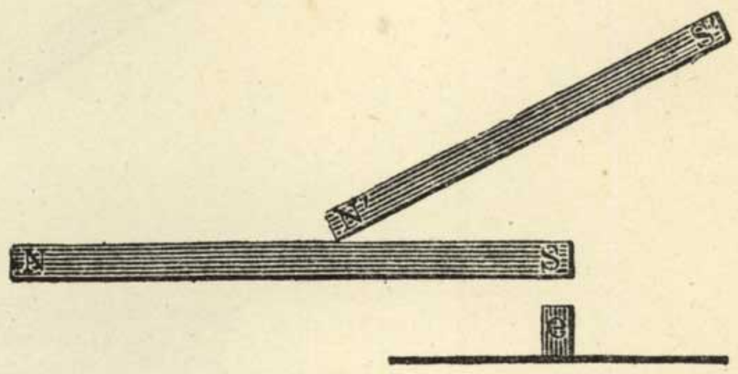
219. Еще задолго до Кулона было извѣстно, что дѣйствіе магнитнаго полюса на сталь отличается отъ его дѣйствія на мягкое желѣзо. Если брусокъ *AB*, къ которому приближаютъ сѣверный полюсъ *N*, сдѣланъ изъ стали, то онъ намагничивается чрезвычайно мало. По мнѣнію Кулона это означаетъ, что въ частицахъ стали сѣверный магнитизмъ съ трудомъ отдѣлимъ отъ южнаго. Въ нихъ существуетъ ка-

http://mathesis.ru

кое-то сопротивленіе движенію магнитнаго флуида, которое проявляется въ видѣ какъ бы тренія при распредѣленіи флуида. Кулонъ обозначилъ силу, съ которою частицы стали сопротивляются движенію флуида, именемъ задерживательной силы.

Для того чтобы преодолѣть задерживательную силу, полюсъ N долженъ дѣйствовать сильнѣе. Этого можно достичь, натирая NS посредствомъ N' (рис. 173). Можно, напримѣръ, положить полюсъ N' на полюсъ N и провести имъ вдоль магнита до S. Затѣмъ N' удаляется отъ магнита, снова накладывается на него въ N, снова повторяется движеніе отъ N до S и т. д. Въ такомъ случаѣ въ N образуется сѣверный полюсъ, а въ S южный. Если производить такое натираніе южнымъ полюсомъ, то въ N получится южный полюсъ, а въ S сѣверный.—Одно такое движеніе намагничиваетъ слабо. Натираніе нужно повторить нѣсколько разъ и намагничиванію можно помочь механическимъ встряхиваніемъ бруска, напримѣръ, при помощи ударовъ молотка. Съ другой стороны Кулонъ зналъ также, что сила намагничиванія, которой можно достичь при помощи натиранія, имѣетъ свои предѣлы. Магнитная сила натирающаго полюса можетъ вызвать въ стальномъ брускѣ полярность только опредѣленной силы.

Рис. 173



Намагничиваніе натираніемъ.

Но разъ стальной брусокъ намагниченъ, онъ сохраняетъ свой магнитизмъ продолжительное время, чѣмъ отличается отъ быстро теряющихъ его магнитовъ изъ мягкаго желѣза. Какъ сначала задерживательная сила сопротивлялась раздѣленію сѣвернаго и южнаго магнитизмовъ въ частицахъ стали, такъ теперь она сопротивляется ихъ сліянію, разъ они отдѣлены другъ отъ друга. Намагниченный кусокъ стали носитъ поэтому названіе постояннаго магнита,—въ отличіе отъ намагниченнаго бруска мягкаго желѣза, который перестаетъ быть магнитомъ, какъ только намагничивающій полюсъ (N на рис. 172) удаляется.

Но стальной магнитъ можно также и „размагнитить“, напримѣръ, ударяя по немъ молоткомъ или попеременно нагрѣвая и охлаждая его. Такимъ образомъ, задерживательная сила дѣлается меньше, когда частицы стали мѣняютъ свое состояніе движенія, безразлично, будетъ ли это измѣненіе происходить отъ ударовъ молотка, отъ сверленія или отъ теплоты (ср. § 186).

220. Другіе два способа намагничиванія, при которыхъ пользуются четырьмя магнитами, принадлежатъ Дюгамелю и Эпинусу. Намагничиваемый брусокъ (рис. 174) накладывается концами на полюсы S' и N двухъ магнитовъ. По первому способу брусокъ натирается противоположными полюсами s' и n двухъ магнитовъ по направленію отъ середины къ концамъ. Во второмъ способѣ оба полюса s' и n перемѣщаются вмѣстѣ въ одну и ту же сторону, напримѣръ, вправо, отсюда обратно влѣво, затѣмъ снова слѣва направо и т. д. Послѣ нѣсколькихъ повтореній этого движенія полюсы s' и n снова снимаются съ середины магнита.

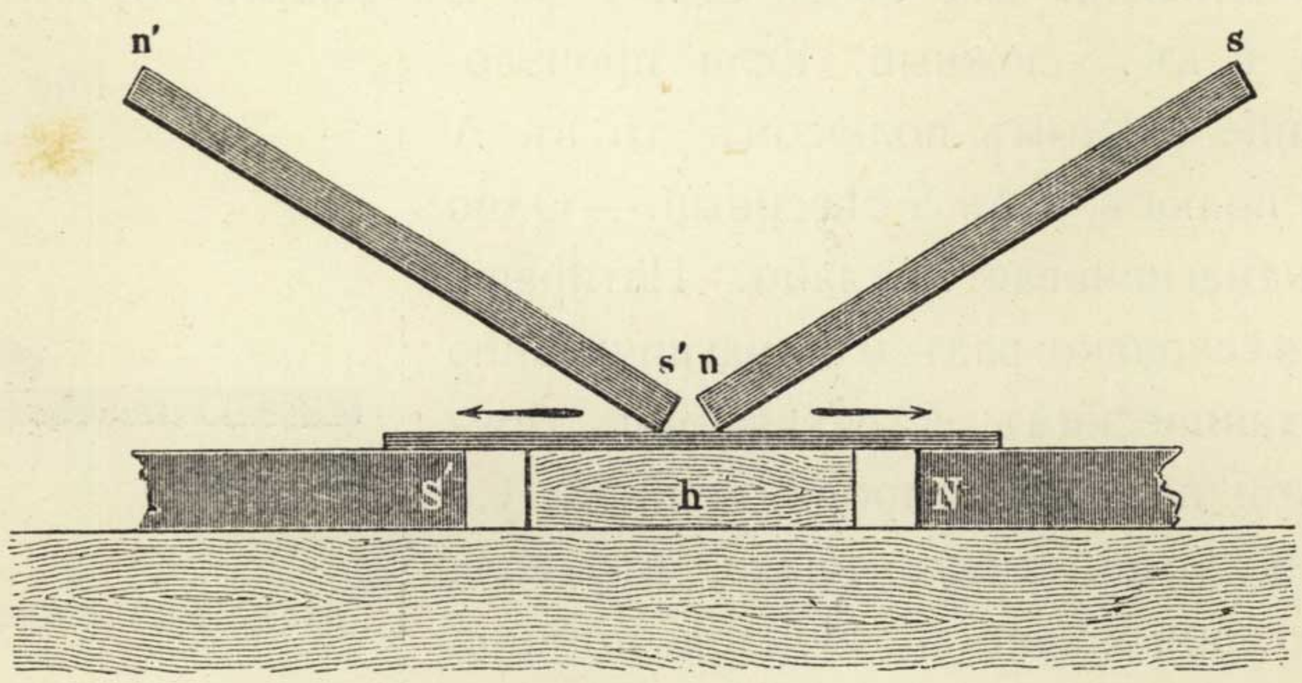
221. Допущеніе Кулона, что процессъ намагничиванія состоитъ въ перераспредѣленіи или въ раздѣленіи въ молекулахъ желѣза двухъ магнитныхъ флуидовъ, сѣвернаго и южнаго, въ настоящее время вытѣснено теоріей, которую предложилъ въ 1797 году ирландскій химикъ Ричардъ Кирванъ (ум. 1812) и впослѣдствіи дальше развилъ Омъ.—Въ противоположность Кулону, Кирванъ допускалъ, что

http://mathesis.ru

молекулы желѣза представляютъ самостоятельные маленькіе магниты съ сѣвернымъ и южнымъ полюсами, безразлично, намагничено ли желѣзо или нѣтъ.

Если желѣзо не намагничено, то молекулярные магниты расположены такъ, что южный полюсъ одного лежитъ возлѣ сѣвернаго полюса другого и ихъ дѣйствія взаимно уничтожаются. Эти молекулярные магниты лежатъ на замкнутыхъ линіяхъ (рис. 175) и не оказываютъ никакого дѣйствія на внѣшнее пространство, такъ какъ при-

Рис. 174

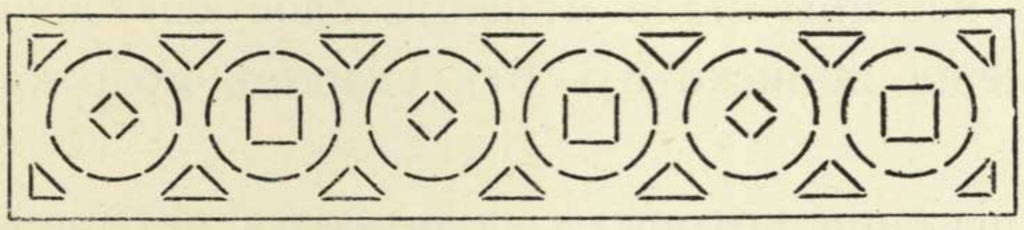


Намагничиваніе четырьмя магнитами.

тяженіе какого-нибудь сѣвернаго полюса уничтожается равнымъ отталкиваніемъ южнаго полюса и обратно.

Намагничиваніе же состоитъ въ томъ, что эти замкнутыя линіи (рис. 175) размыкаются и молекулярные магниты пріобрѣтаютъ опредѣленное направленіе. Если вообразить себѣ, что всѣ молекулярные магниты направлены одинаково, то намагничиваніе будетъ совершенное и внутреннее строеніе магнита будетъ представлено рис. 176. Молекулярные магниты образуютъ прямыя линіи и магнитная сила, „свободный магнитизмъ“, проявляется только на концахъ бруска. На одномъ концѣ дѣйствуетъ только сѣверный магнитизмъ, на другомъ только южный. Сила полюсовъ всего

Рис. 175



Молекулярные магниты, расположенные по замкнутымъ кривымъ.

Рис. 176



Полное намагничиваніе.

магнита зависитъ отъ силы каждаго отдѣльнаго молекулярнаго магнита и отъ числа маленькихъ полюсовъ, входящихъ въ составъ большого.

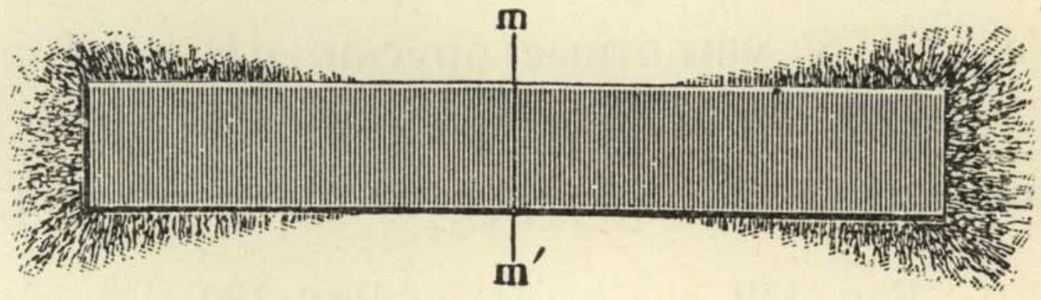
Однако, въ дѣйствительныхъ магнитахъ соотношенія не такъ просты. Это можно заключить уже изъ того факта, что магнитъ обладаетъ свободнымъ магнитизмомъ не только на полюсахъ и что свободная сѣверно-магнитная сила имѣется въ магнитѣ отъ сѣвернаго полюса до середины и, соотвѣтственно, южно-магнитная сила отъ южнаго полюса до середины. Только въ серединѣ есть мѣсто mm' (рис. 177), гдѣ сѣверный и южный магнитизмы уравновѣшиваютъ другъ друга и гдѣ, слѣдовательно, нѣтъ свободнаго магнитизма. Это легко видѣть, погрузивъ магнитъ въ желѣзныя опилки. На полюсахъ, гдѣ магнитная сила больше всего, онѣ висятъ въ наибольшемъ

http://mathesis.ru

количествѣ, но между полюсами и срединой онѣ также пристаютъ, хотя въ меньшемъ количествѣ. Только въ серединѣ магнита частички желѣза совсѣмъ не пристаютъ. Поэтому молекулярные магниты не могутъ располагаться по прямымъ линіямъ вдоль по длинѣ магнита; ихъ нужно представлять расположенными по кривымъ линіямъ (рис. 178), которыя не всѣ оканчиваются въ оконечностяхъ магнита, а отчасти въ боковыхъ граняхъ магнита.

222. У Кирвана задерживательная сила получаетъ нѣсколько иное значеніе. Она есть не что иное, какъ сопротивленіе молекулярныхъ магнитовъ вращенію. Въ мягкомъ желѣзѣ, которое намагничивается легко, это сопротивленіе незначительно, но молекулярные магниты, когда намагничивающая сила перестаетъ дѣйствовать, снова приходятъ въ первоначальное положеніе и желѣзо снова становится немагнитнымъ.—Въ закаленномъ желѣзѣ или въ стали, напротивъ того, сопротивленіе вращенію велико и молекулярные магниты не такъ легко подвижны.

Рис. 177

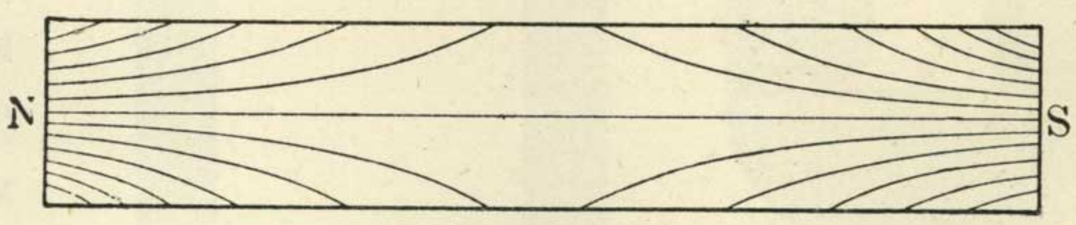


Магнитъ, погруженный въ желѣзныя опилки.

Но разъ сопротивленіе вращенію преодолѣно, они остаются въ своихъ новыхъ положеніяхъ, т. е. стальной брусокъ обращается въ постоянный магнитъ.

223. Причина, по которой представленіе Кулона о магнитномъ распредѣленіи было вытѣснено теоріей вращенія Кирвана, лежитъ въ томъ, что при намагничиваніи и размагничиваніи желѣза несомнѣнно происходятъ молекулярныя движенія. Именно, при намагничиваніи желѣзнаго бруска его длина слегка возрастаетъ, а толщина нѣсколько уменьшается. Это указываетъ на то, что его молекулы распредѣляются нѣсколько иначе. Какъ мы увидимъ ниже, съ помощью электрическихъ токовъ можно быстро намагничивать и размагничивать мягкое желѣзо. При этомъ брусокъ поперемѣнно то удлиняется, то укорачивается, другими словами—онъ приходитъ въ колебаніе и звучитъ подобно камертону. Молекулярное движеніе обнаруживается еще и тѣмъ, что брусокъ вслѣдствіе тренія молекулъ нагрѣвается.

Рис. 178



Расположеніе молекулярныхъ магнитовъ.

224. Чтобы получить магниты возможно бо̀льшей силы, имъ даютъ форму подковы. Первые магниты такого рода были изготовлены въ Базелѣ механикомъ Дитрихомъ (ум. 1758).

Подковообразный магнитъ (рис. 179) намагничивается такъ, что его полюсы находятся въ *N* и *S*. Кусокъ мягкаго желѣза, приложенный къ полюсамъ, такъ называемый якорь, удерживается обоими полюсами. Сѣверный полюсъ *N* образуетъ въ якорѣ южный полюсъ *s*, а южный полюсъ *S* магнита образуетъ сѣверный полюсъ *n* якоря. Но образуя южный полюсъ *s*, полюсъ *N* содѣйствуетъ также образованію сѣвернаго полюса *n* и такимъ же образомъ *S* содѣйствуетъ образованію южнаго полюса *s*. Такимъ образомъ, каждый изъ двухъ полюсовъ *N* и *S* подковообразнаго магнита не только притягиваетъ якорь самъ по себѣ, но и усиливаетъ дѣйствіе другого полюса, вслѣдствіе чего увеличивается и притяженіе каждаго изъ нихъ.

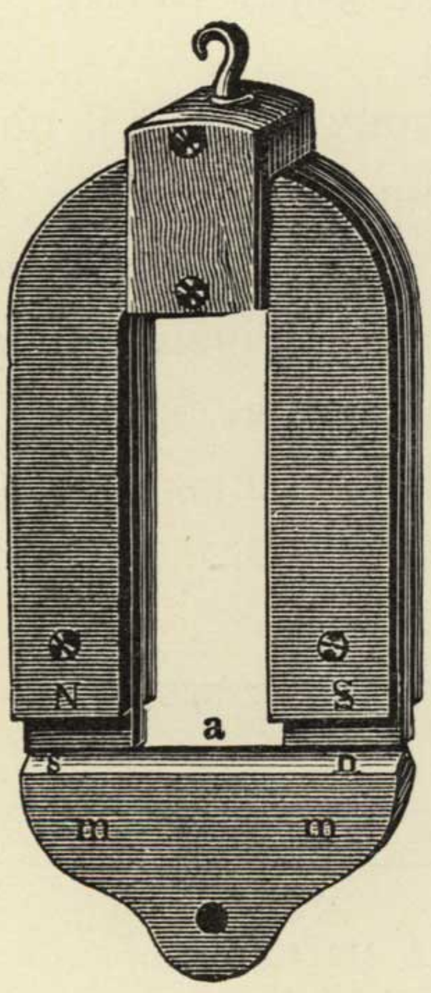
http://mathesis.ru

Какъ легко видѣть, якорь мѣшаетъ подковообразному магниту терять магнитизмъ, т. е. онъ стремится сохранить направленіе молекулярныхъ магнитовъ. Поэтому подковообразный стальной магнитъ можно намагнитить сильнѣе, если во время намагничиванія къ нему приложенъ якорь. Якорь даже самъ по себѣ можетъ усиливать магнитъ. Именно, если нагружать якорь постепенно все больше и больше, то въ концѣ концовъ (спустя нѣсколько дней) онъ будетъ въ состояніи удерживать гораздо бо́льшую тяжесть, чѣмъ вначалѣ. Увеличеніе притягательной силы обусловливается тѣмъ, что молекулярные магниты въ подковообразномъ магнитѣ и въ якорѣ подъ вліяніемъ магнитныхъ силъ принимаютъ самое благопріятное положеніе.

Чтобы предохранить магниты отъ потери магнитизма, ихъ снабжаютъ якорями. Намагниченные бруски сохранять лучше всего такъ, какъ указано на рис. 180. Здѣсь NS и $N'S'$ магнитные бруски, ab и cd якоря (арматуры).

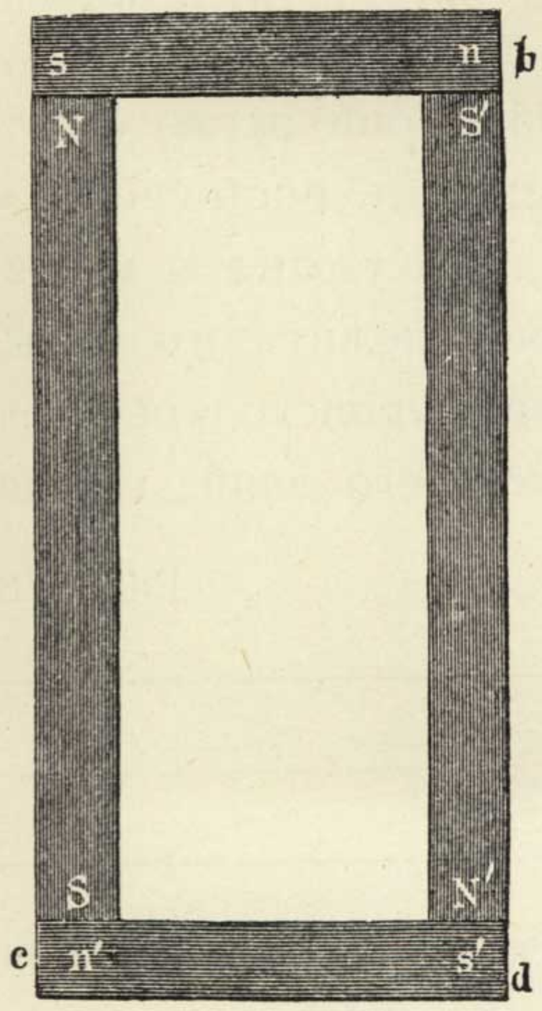
225. По теоріи вращенія Кирвана легко видѣть, что стальной брусокъ можно намагнитить только до извѣстной степени. Въ самомъ дѣлѣ, разъ всѣ молекулярные магниты расположились наивыгоднѣйшимъ образомъ, дальнѣйшее намагничиваніе невозможно. Какъ говорятъ, въ этомъ случаѣ магнитъ насыщенъ магнитизмомъ.

Рис. 179



Подковообразный магнитъ.

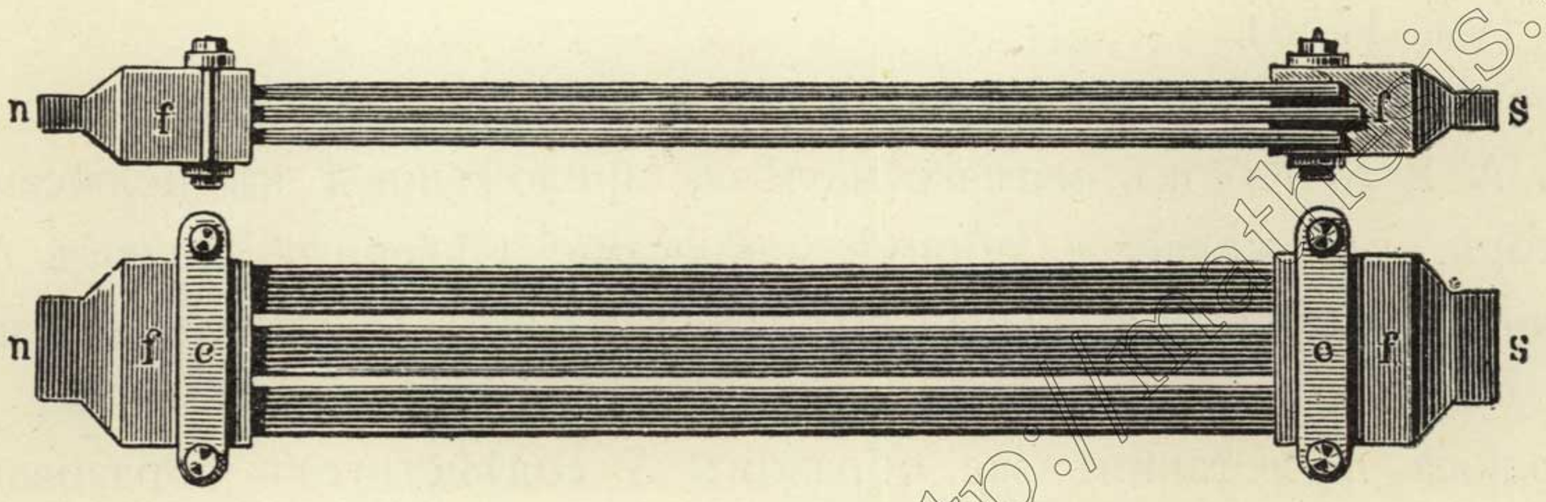
Рис. 180



Магнитъ съ арматурами.

Толстый стальной брусокъ нельзя намагнитить совершенно. Молекулярные магниты принимаютъ надлежащія направленія только во внѣшнихъ слояхъ. Поэтому сильные магниты приготовлять лучше всего, соединяя нѣсколько тонкихъ магнитныхъ стальныхъ полосъ въ одинъ большой магнитъ, такъ называемый „магнитный магазинъ“ (рис. 181). Одноименные полюсы отдѣльныхъ магнитныхъ полосъ вдѣлываются въ кусокъ мягкаго желѣза (якорь). Однако, увеличеніе числа магнитныхъ полосъ свыше извѣстнаго предѣла не приноситъ никакой пользы. Когда нѣсколько магнитныхъ полюсовъ соединяются въ одномъ мѣстѣ, то каждый изъ нихъ дѣйствуетъ на остальные ослабляющимъ образомъ. Въ виду этого отдѣльнымъ полосамъ магнитнаго магазина даютъ различную длину (рис. 181).

Рис. 181



Магнитный магазинъ.

http://mathesis.ru

Подобнымъ же образомъ устраиваютъ и сильные подковообразные магниты. Наиболѣе же сильные магниты можно получать при помощи электричества. О нихъ болѣе подробно будетъ говориться ниже.

Земной магнитизмъ

226. Въ 1635 году въ Лондонѣ вышла въ свѣтъ книга, обратившая на себя большое вниманіе англичанъ, вообще сильно заинтересованныхъ мореплаваніемъ. Авторомъ этой книги былъ Генри Геллибрандъ (1597—1637), профессоръ астрономіи въ Лондонѣ.

Именно, Геллибрандъ доказывалъ въ своей книгѣ, что отклоненіе компасной стрѣлки отъ линіи сѣвера-юга съ теченіемъ времени мѣняется. Онъ провелъ въ своемъ саду полуденную линію и съ помощью длинной магнитной стрѣлки опредѣлилъ величину отклоненія стрѣлки отъ линіи сѣвера-юга. При этомъ оказалось, что отклоненіе было теперь меньше, чѣмъ раньше.

Робертъ Норманъ нашелъ для величины этого отклоненія $11^0\ 15'$. Эдмундъ Гёнтеръ, предшественникъ Геллибранда въ должности профессора астрономіи въ Gresham College, измѣрилъ это отклоненіе въ 1622 году и нашелъ для него $6^0\ 12'$ къ востоку. Въ 1634 году Геллибрандъ нашелъ для этого отклоненія величину $4^0\ 5'$. Такимъ образомъ, за время отъ 1576 до 1634 года отклоненіе уменьшилось весьма значительно.

Въ то же время измѣненія положеній магнитной стрѣлки наблюдали также французскіе физики, которые нашли, что въ Парижѣ въ 1580, 1603 и 1630 годахъ склоненіе было равно $11^1/_2{}^0$, $8^3/_4{}^0$ и $4^1/_2{}^0$ къ востоку. Однако, французы не придали этому явленію большого значенія. Напротивъ того, въ Англіи появленіе книги Геллибранда послужило началомъ обширныхъ и продолжительныхъ изслѣдованій.

227. Большинство работъ въ области магнитизма, появившихся въ ближайшее затѣмъ время, касается, поэтому, магнитнаго состоянія земли. Что касается самихъ магнитовъ и магнитной силы, то здѣсь не пошли дальше того, на чемъ остановился Гильбертъ. Accademia del Cimento повторила опыты Гильберта, но не получила новыхъ результатовъ. Не двинула впередъ это изслѣдованіе и предложенная Декартомъ (I, § 171) теорія магнитной силы. Поэтому мы не будемъ останавливаться на ней подробнѣе, хотя сама по себѣ она отличалась геніальнымъ остроуміемъ. Только когда стали глубже знанія въ области электричества, стало замѣтно дальнѣйшее движеніе и въ области магнитизма.

Первымъ описаніемъ магнитнаго состоянія болѣе значительной части земной поверхности мы обязаны англійскому астроному и физику Эдмунду Галлею, одному изъ знаменитѣйшихъ современниковъ Ньютона. Галлей родился въ 1656 году въ Гаггерстонѣ близъ Лондона. Послѣ обученія въ школѣ Св. Павла въ Лондонѣ онъ поступилъ въ 1673 году въ Оксфордскій университетъ. Его отецъ, богатый фабрикантъ мыла, устроилъ ему здѣсь маленькую физическую лабораторію и снабдилъ его астрономическими инструментами, такъ что уже въ ранней молодости Галлей могъ заниматься самостоятельными работами. Первая опубликованная имъ работа была математическаго содержанія и касалась геометрическаго опредѣленія эксцентрицитета планетныхъ орбитъ. Вскорѣ затѣмъ Галлей рѣшилъ составить каталогъ звѣздъ

http://mathesis.ru

южнаго неба. Пользуясь поддержкой короля Карла II, онъ отправился на островъ Св. Елены и здѣсь опредѣлилъ положенія 340 звѣздъ. Въ благодарность онъ назвалъ одно изъ созвѣздій „Дубомъ Карла II“ въ воспоминаніе о томъ дуплистомъ дубѣ, въ которомъ король укрылся послѣ пораженія Вустера войсками Кромвелля.

По возвращеніи съ юга, 22 лѣтъ отъ роду Галлей сталъ членомъ Royal Society. —О его отношеніяхъ къ Ньютону рѣчь была выше (I, § 297). Теперь онъ обратился къ изученію земного магнитизма, собралъ всѣ свѣдѣнія о склоненіи магнитной стрѣлки, какія могъ найти, и въ 1683 году опубликовалъ таблицу, въ которой сопоставилъ собранный матеріалъ. Въ позднѣйшей работѣ (1692) онъ занялся вопросомъ о причинѣ измѣненій склоненія, которыя были ему извѣстны по работѣ Геллибранда и которыя обнаруживались и въ собранномъ имъ матеріалѣ, охватывавшемъ время отъ 1640 до 1680 года.

Рис. 182



Эдмундъ Галлей.

Ни различія склоненій въ различныхъ мѣстахъ, которыя были установлены Галлеемъ, ни измѣнчивость склоненія въ одномъ и томъ же мѣстѣ нельзя было объяснить допущеніемъ Гильберта, что земля есть большой магнитъ съ однимъ сѣвернымъ и однимъ южнымъ полюсами.

Въ самомъ дѣлѣ, по таблицѣ Галлея какъ въ Европѣ, такъ и на западномъ берегу Сѣверной Америки склоненіе было западное, но ни въ одномъ мѣстѣ между этими двумя частями свѣта оно не было нулемъ и не было восточнымъ. По мнѣнію Галлея, это было несовмѣстимо съ теоріей Гильберта и потому онъ допустилъ, что земля имѣетъ не два, а четыре магнитныхъ полюса. Такимъ образомъ, по этой теоріи земля представляла родъ двойного магнита съ двумя сѣверными и съ двумя южными полюсами. Для объясненія же измѣненій склоненія Галлей предложилъ слѣдующую своеобразную теорію. Онъ принималъ, что земля состоитъ изъ твердой внѣшней оболочки и такого же твердаго внутренняго ядра, отдѣленнаго отъ оболочки жидкимъ слоемъ, и что какъ оболочка, такъ и ядро представляютъ самостоятельные магниты съ двумя полюсами каждый. Затѣмъ онъ допустилъ, что оболочка и ядро вращаются около общей оси, но ядро вращается нѣсколько медленнѣе, такъ что приблизительно въ 700 лѣтъ оно отстаетъ отъ оболочки на одинъ оборотъ. При такомъ, нѣсколько смѣломъ, допущеніи магнитная стрѣлка съ теченіемъ времени должна, конечно, измѣнять свое направленіе въ данномъ мѣстѣ. Это направленіе опредѣляется всѣми четырьмя полюсами и потому, если полюсы перемѣщаются другъ относительно друга, то это должно влечь за собою измѣненіе величины и направленія общей суммы ихъ дѣйствій. По прошествіи приблизительно 700 лѣтъ эти измѣненія

http://mathesis.ru

должны повторяться, такъ какъ въ этомъ случаѣ четыре полюса снова возвращаются къ первоначальному положенію относительно другъ друга. Галлей настолько сжился съ этими мыслями, что не считалъ невозможной обитаемость поверхности земного ядра. Другими словами, онъ вѣрилъ въ возможность подземнаго міра.

228. Благодаря своимъ прекраснымъ связямъ съ правительствомъ, Галлей могъ доставать средства для изслѣдованій, требующихъ большихъ затратъ. Такъ, въ 1698—1702 годахъ онъ предпринялъ на военномъ суднѣ три путешествія по Атлантическому океану для опредѣленія направленія компасной стрѣлки въ возможно бо́льшемъ числѣ мѣстъ. Эти путешествія захватили берега Африки и Америки и острова Асорскіе, Канарскіе и Св. Елены. Послѣ первыхъ двухъ путешествій Галлей опубликовалъ свои наблюденія въ формѣ карты склоненій, т. е. карты, на которой мѣста съ равными склоненіями были соединены линіями. Такая карта даетъ очень наглядное изображеніе этихъ соотношеній.

Въ то время какъ Галлей собиралъ матеріалъ для карты склоненій, другіе измѣряли наклоненіе во время морскихъ путешествій изъ Англіи въ Китай. Но карта этихъ наблюденій, карта наклоненій, была опубликована только въ 1768 году Вильке (§ 51).

Этотъ способъ изображенія магнитнаго состоянія земли сохранился и до сихъ поръ и магнитныя линіи чрезвычайно удобны для наблюденія измѣненій, которымъ подвергается магнитизмъ земли съ теченіемъ времени.

Имя Галлея встрѣчается въ исторіи астрономіи и физики неоднократно. Во время своего пребыванія на островѣ Св. Елены въ 1677 году Галлей наблюдалъ одно прохожденіе Меркурія черезъ дискъ солнца и при этомъ случаѣ натолкнулся на мысль воспользоваться такими же прохожденіями Венеры для опредѣленія разстоянія солнца отъ земли. Въ 1716 году онъ разработалъ этотъ планъ подробнѣе, чтобы дать астрономамъ возможность произвести это наблюденіе при томъ прохожденіи Венеры, которое должно было имѣть мѣсто въ 1761 году. Его указаніями воспользовались какъ при этомъ прохожденіи, такъ и при слѣдующихъ и они привели къ очень точному измѣренію діаметра земной орбиты (I, § 309).—Очень извѣстны также его вычисленія кометныхъ орбитъ, равно какъ и его наблюденія надъ движеніемъ нѣкоторыхъ неподвижныхъ звѣздъ (I, § 322).

Въ 1703 году Галлей сталъ преемникомъ Валлиса (I, § 178) въ качествѣ профессора математики Оксфордскаго университета, а въ 1719 году онъ сталъ, послѣ Флэмстида, Королевскимъ астрономомъ на Гриничской обсерваторіи. Въ Philosophical Transactions онъ опубликовалъ не менѣе 78 статей. Онъ умеръ въ 1742 году.

229. Неправильности въ направленіи стрѣлки склоненій замѣчаются, однако, не только за большіе промежутки времени. На самомъ дѣлѣ стрѣлка почти никогда не бываетъ въ покоѣ, она постоянно мѣняетъ свое направленіе, какъ открылъ Джорджъ Грэмъ.

Грэмъ родился въ 1675 году въ Горсгиллсѣ въ Кёмберландѣ и молодымъ человѣкомъ поступилъ въ ученіе къ знаменитому часовщику Томпіону, который сдѣлалъ первые карманные часы со спиральной пружиной Гука (I, § 165). Томпіонъ тотчасъ же замѣтилъ выдающійся талантъ молодого Грэма къ механикѣ.

Грэмъ строилъ для Гриничской обсерваторіи различные инструменты, между прочимъ также тотъ секторъ, при помощи котораго Брадлей открылъ аберрацію

http://mathesis.ru

(I, § 284). Особенно прославился онъ планетаріемъ, построеннымъ для лорда Оррери и встрѣтившимъ такое одобреніе, что у богачей въ Англіи вошло въ моду ставить въ библіотекѣ такой планетарій, хотя его цѣна составляла около 10000 рублей. Этотъ планетарій, указывавшій движенія планетъ вокругъ солнца и движенія спутниковъ вокругъ планетъ, былъ изобрѣтенъ, впрочемъ, не самимъ Грэмомъ, а Петеромъ Апіаномъ, знаменитымъ придворнымъ математикомъ императора Карла V.

Грэмъ былъ не только практическимъ механикомъ, но обладалъ также основательными свѣдѣніями въ астрономіи и физикѣ и написалъ нѣсколько цѣнныхъ статей о научныхъ инструментахъ и физическихъ явленіяхъ. Въ 1728 году онъ былъ принятъ въ члены Royal Society. Онъ умеръ въ 1751 году и былъ похороненъ въ Вестминстерскомъ аббатствѣ,—согласно желанію его учителя и покровителя Томпіона въ одномъ гробу съ послѣднимъ.

230. Для своихъ наблюденій склоненія, которыя Грэмъ дѣлалъ въ 1722—3 годахъ, онъ пользовался стрѣлкой въ 12 дюймовъ длины, подвѣшенной очень чувствительно и вращавшейся надъ раздѣленнымъ кругомъ, на которомъ можно было непосредственно отсчитывать дугу въ двѣ минуты. Грэмъ замѣтилъ, что стрѣлка мѣняла свое направленіе съ часу на часъ. Стрѣлка, собственно, никогда даже и не успокаивалась, а совершала непрерывныя колебанія около положенія равновѣсія. Эти измѣненія, около $^1/_2{}^0$ величиною, правильно повторялись каждыя сутки. По наблюденіямъ Грэма вечеромъ отъ 6 до 7 часовъ склоненіе было наименьшее, а днемъ между 12 и 4 часами наибольшее. Однако, эти моменты указаны неточно. Склоненіе бываетъ меньше всего между 7 и 8 часами утра и больше всего между 1 и 2 часами пополудни. Такимъ образомъ, въ сѣверномъ полушаріи стрѣлка, начиная съ 1—2 часовъ пополудни, движется на востокъ до 7 или 8 часовъ слѣдующаго утра, а затѣмъ движется къ западу до времени между 1 и 2 часами пополудни.

Цельзій (§ 25), состоявшій въ перепискѣ съ Грэмомъ, опубликовалъ въ 1740 году рядъ наблюденій надъ суточнымъ движеніемъ стрѣлки склоненій. Эти наблюденія точнѣе опредѣлили моменты наибольшаго и наименьшаго склоненій.

Цельзій продолжалъ свои магнитныя наблюденія и его ассистентъ Олафъ Гьортеръ на Упсальской обсерваторіи замѣтилъ въ 1741 году, что магнитная стрѣлка приходитъ въ сильное колебаніе всякій разъ, когда появляется сильное сѣверное сіяніе. Такимъ образомъ между сѣверными сіяніями и земнымъ магнитизмомъ существуетъ связь, о чемъ догадывался уже Галлей въ 1716 году на томъ основаніи, что сѣверныя сіянія, какъ ему казалось по его наблюденіямъ, настолько же отклонялись отъ сѣвера, насколько и магнитная стрѣлка.

231. Теорія Галлея о двухъ неподвижныхъ и двухъ подвижныхъ магнитныхъ полюсахъ нашла много сторонниковъ, но многимъ эта теорія подземнаго міра (§ 226) казалась слишкомъ смѣлой. Къ числу послѣднихъ принадлежали также превосходный математикъ Леонардъ Эйлеръ и Гёттингенскій профессоръ Тобіасъ Майеръ.

Эйлеръ родился въ 1707 году въ Базелѣ и былъ сынъ священника. Въ университетѣ родного города, въ которомъ въ то время училъ Іоганнъ Бернули, онъ изучалъ математику. Съ 1727 до 1741 года онъ работалъ въ С.-Петербургѣ въ качествѣ члена Академіи, затѣмъ послѣдовалъ приглашенію Фридриха II въ Берлинъ, но въ 1766 году вернулся въ Петербургъ, гдѣ и умеръ въ 1783 году. Еще въ 1735 году онъ ослѣпъ отъ болѣзни на правый глазъ, а съ 1766 года ослѣпъ

http://mathesis.ru

почти совершенно и на лѣвый глазъ. Несмотря на это онъ написалъ массу выдающихся математическихъ работъ, въ которыхъ главнымъ образомъ развивалось основанное Ньютономъ и Лейбницемъ дифференціальное и интегральное исчисленія.

Эйлеръ былъ рѣшительнымъ противникомъ Ньютоновой теоріи свѣта, а равнымъ образомъ и теоріи Ньютона о томъ, что сила можетъ дѣйствовать на разстояніе безъ посредства промежуточной среды. Онъ пытался распространить свою теорію эѳира (см. отдѣлъ О природѣ свѣта) на магнитныя силы, но въ концѣ концовъ оставилъ это и принялъ вмѣстѣ съ Декартомъ, что изъ магнита истекаетъ особый магнитный флуидъ. Что касается земного магнитизма, то онъ пытался объяснить распредѣленіе склоненій при помощи двухъ магнитныхъ полюсовъ, не діаметрально противоположныхъ другъ другу. Однако, его вычисленія плохо согласовались съ наблюденными склоненіями.

Тобіасъ Майеръ (1723—1762), родившійся въ Марбахѣ въ Вюртембергѣ, съ 1751 года профессоръ въ Гёттингенѣ, былъ однимъ изъ крупнѣйшихъ астрономовъ XVIII вѣка. За лунныя таблицы, служившія для опредѣленія долготъ, его вдова получила отъ англійскаго правительства вознагражденіе въ 3000 фунтовъ стерлингъ (около 30000 рублей). Майеръ также допускалъ существованіе только двухъ полюсовъ, лежащихъ вблизи центра земли. Именно, по его мнѣнію земной магнитизмъ обусловливается существованіемъ короткаго въ сравненіи съ радіусомъ земли, но чрезвычайно сильнаго центральнаго магнита. Его предположенія были ясны и опредѣленны и могли лечь въ основу вычисленій. Изъ нихъ вытекало, что магнитный экваторъ есть кругъ и что магнитная сила достигаетъ наибольшей величины на магнитныхъ полюсахъ земли, т. е. въ тѣхъ мѣстахъ, въ которыхъ линія, проходящая черезъ полюсы центральнаго магнита, встрѣчаетъ поверхность земли. Эти выводы изъ допущеній Майера не нашли, однако, точнаго потвержденія въ фактахъ. Магнитный экваторъ не есть большой кругъ и магнитная сила достигаетъ наибольшей величины не на магнитныхъ полюсахъ.

232. Въ то время какъ теорію земного магнитизма никакъ не удавалось согласовать съ измѣреніями, послѣднія, главнымъ образомъ по требованіямъ практики, продолжались все съ большей точностью. Благодаря наблюденіямъ мореплавателей и путешественниковъ постепенно собирался чрезвычайно богатый матеріалъ. Но этотъ матеріалъ могъ имѣть значеніе только, будучи собранъ и обработанъ. Эту большую работу выполнилъ Христоффер Ганстенъ.

Ганстенъ родился въ Христіаніи въ 1784 году. Окончивъ гимназію въ родномъ городѣ, онъ въ 1802 году отправился въ Копенгагенъ для изученія права. Вѣроятно онъ избралъ эту спеціальность, чтобы быть въ состояніи возможно скорѣе поддерживать свою мать, жившую въ нуждѣ. Однако, онъ долженъ былъ прервать свое ученіе и принять мѣсто домашняго учителя въ Сорё. Но на этомъ мѣстѣ онъ оставался всего полтора года.

Теперь онъ снова провелъ нѣсколько времени въ Копенгагенѣ, гдѣ познакомился съ Эрстедомъ. Послѣдній въ 1804 году вернулся изъ своего перваго путешествія заграницу. Въ то время въ области физики замѣчалось броженіе по всей Европѣ и Эрстедъ умѣлъ передать учащейся молодежи энтузіазмъ къ наукѣ, который воодушевлялъ его самого.

Ганстенъ имѣлъ намѣреніе окончить юридическое образованіе, но средствъ

http://mathesis.ru

у него не хватило и потому въ 1806 году онъ принялъ мѣсто учителя математики въ классической школѣ въ Фредериксборгѣ.

Случай направилъ его на занятія магнитными изслѣдованіями. Именно, его школа получила въ подарокъ пару глобусовъ, на которыхъ были начерчены магнитныя кривыя, чрезвычайно заинтересовавшія его. Онъ подробно познакомился со всѣмъ, что было извѣстно въ то время о земномъ магнитизмѣ, и началъ производить самостоятельныя изслѣдованія. Въ 1811 году Королевское Научное Общество въ Копенгагенѣ предложило слѣдующую задачу на премію: „можно ли объяснить явленія земного магнитизма существованіемъ одной только магнитной оси или ихъ должно быть нѣсколько?“ Ганстенъ представилъ отвѣтъ на этотъ вопросъ и получилъ премію.

Рис. 183



Христоффер Ганстенъ.

233. Такимъ образомъ ему пришлось изслѣдовать, нельзя ли объяснить магнитныя явленія при помощи теоріи Тобіаса Майера, т. е. теоріи, что существуетъ только два полюса, лежащихъ вблизи центра земли.

Ганстенъ тотчасъ же принялся за изготовленіе вѣрныхъ магнитныхъ картъ. Въ то время существовало только нѣсколько очень несовершенныхъ картъ склоненія и еще худшихъ картъ наклоненія. Ганстенъ долженъ былъ собирать данныя о положеніи магнитной стрѣлки изъ судовыхъ журналовъ со всѣхъ концовъ земли и на

http://mathesis.ru

основаніи этихъ данныхъ составлять карты. Когда его статья была напечатана въ 1819 году, онъ могъ приложить къ ней цѣлый атласъ, карты котораго охватывали время отъ 1600 до 1800 года.

По этимъ картамъ было легко видѣть, что земной магнитизмъ не можетъ обусловливаться существованіемъ одного магнита съ двумя полюсами. Для этого направленія магнитныхъ линій были слишкомъ неправильны. Поэтому Ганстенъ отбросилъ гипотезу Майера и попытался объяснить явленія, подобно Галлею, допущеніемъ четырехъ полюсовъ, не прибѣгая, впрочемъ, къ помощи двойной земли Галлея.

234. Кромѣ богатаго матеріала о распредѣленіи земного магнитизма отвѣтъ Ганстена на задачу Академіи содержалъ также подробныя изслѣдованія о распредѣленіи магнитной силы въ магнитахъ и о взаимодѣйствіи двухъ магнитовъ другъ на друга. Этотъ отвѣтъ явился ближайшей причиной того, что въ 1813 году Ганстенъ былъ назначенъ лекторомъ въ новомъ университетѣ въ Христіаніи. Свое новое положеніе онъ долженъ былъ занять только въ слѣдующемъ году, а оставшееся время онъ долженъ былъ использовать для подготовки къ преподавательской дѣятельности. Для этой цѣли онъ и еще нѣсколько молодыхъ ученыхъ, приглашенныхъ въ новый университетъ, получили королевскую поддержку.

Открытіе этого университета происходило при тяжелыхъ обстоятельствахъ. Ганстенъ слѣдующимъ образомъ описываетъ свое путешествіе изъ Копенгагена въ Христіанію.

„Когда въ 1814 году наконецъ наступило время занять мѣсто въ университетѣ, я былъ вынужденъ купить старую каперскую шкуну, а также нанять капитана и нѣсколько норвежскихъ матросовъ, которые незадолго передъ тѣмъ были отпущены изъ англійскаго плѣна и страстно стремились попасть снова на родину. Когда норвежцы были освобождены отъ своей присяги королемъ соединенныхъ королевствъ [1]), они объявили себя независимыми; но каждому норвежцу въ Даніи подъ страхомъ смертной казни было запрещено ѣхать въ Норвегію какимъ-нибудь инымъ путемъ кромѣ пути черезъ Швецію. А здѣсь требовали принесенія присяги на вѣрность королю Швеціи, идти же на это при тогдашнихъ условіяхъ было невозможно. Съ другой стороны, отказъ грозилъ заключеніемъ въ тюрьму. 14 іюля я отплылъ на этомъ безпалубномъ ботѣ изъ Копенгагена въ сопровожденіи молодой жены и младшаго брата. Ночью насъ нѣсколько времени преслѣдовало шведское каперское судно. Когда мы на третье утро подошли уже къ норвежскому берегу, мы, послѣ нѣсколькихъ выстрѣловъ по насъ, должны были сдаться капитану англійскаго крейсера Маккензи, который велъ взятый у датчанъ фрегатъ „Венусъ“. Когда нашъ капитанъ и матросы предъявили англійскому капитану свои документы и дали ему свѣдѣнія обо мнѣ и о цѣли моего путешествія, этотъ благородный человѣкъ отпустилъ насъ и пожелалъ намъ счастливаго пути. Присутствіе молодой женщины на борту нашего судна, конечно, очень помогло убѣдить его, что наша экспедиція не имѣла военнаго характера“. Такимъ образомъ Ганстенъ благополучно добрался до своей родины, гдѣ сталъ однимъ изъ первыхъ среди выдающихся людей „самостоятельной“ Норвегіи.

235. Между прочимъ онъ долженъ былъ также преподавать въ университетѣ

---

[1]) Датскимъ. До 1814 года Норвегія была соединена съ Даніей. По Кильскому договору 1814 года Данія должна была отказаться отъ Норвегіи въ пользу Швеціи. *Прим. пер.*

http://mathesis.ru

и астрономію и потому ему пришлось налаживать астрономическія наблюденія. Но для такихъ наблюденій не было ни зданія, ни нужныхъ инструментовъ. Онъ досталъ на время взаймы секстанъ и хронометръ. Сначала онъ долженъ былъ дѣлать свои наблюденія въ квартирѣ на второмъ этажѣ въ оживленной части города, но въ 1815 году университетъ построилъ для него восьмиугольный деревянный сарай на южной сторонѣ крѣпости Акергусъ. Было пріобрѣтено и нѣсколько подержанныхъ инструментовъ. Въ этой первой норвежской обсерваторіи Ганстенъ опредѣлилъ географическое положеніе Христіаніи.

Наряду съ преподаваніемъ и астрономическими работами Ганстенъ продолжалъ свои занятія по земному магнитизму. Его трудъ о земномъ магнитизмѣ появился на нѣмецкомъ языкѣ и создалъ Ганстену большія связи съ иностранными учеными.

Рис. 184



Нынѣшняя обсерваторія въ Христіаніи.

Благодаря ему Христіанія стала даже центромъ работъ по изслѣдованію земного магнитизма, такъ какъ Ганстенъ получалъ свѣдѣнія объ измѣреніяхъ и наблюденіяхъ относительно земного магнитизма изъ всѣхъ странъ свѣта.

Эта неустанная работа и уваженіе, пріобрѣтенное Ганстеномъ заграницей, конечно, много способствовали тому, что ему удалось въ сравнительно короткое время добиться постройки астрономической (1830) и магнитной (1835) обсерваторій. Въ 1855 году онъ могъ съ гордостью писать: „я думаю, что въ настоящее время изъ всѣхъ обсерваторій четырехъ сѣверныхъ университетовъ наша обставлена лучше всѣхъ“.

Тамъ же онъ говоритъ, что совершенно невѣрно мнѣніе, распространенное въ то время, будто легче получить поддержку для науки и искусства отъ абсолютнаго правительства, чѣмъ отъ народнаго представительства, которое отчасти состоитъ изъ людей, мало знакомыхъ съ наукой. „Норвежскій университетъ имѣетъ всѣ основанія

http://mathesis.ru

быть благодарнымъ за щедрость, съ которою онъ былъ обставленъ во всѣхъ отношеніяхъ".

Стортингъ далъ также средства для путешествія въ Сибирь, которое Ганстенъ предпринялъ въ 1828—30 годахъ для производства тамъ магнитныхъ наблюденій.

Кромѣ большого числа научныхъ работъ Ганстенъ писалъ также общедоступныя книги и статьи, между которыми особенно нужно отмѣтить его путевыя замѣтки, переведенныя также на французскій и нѣмецкій языки. Въ 1861 году онъ вышелъ въ отставку, а въ 1873 году умеръ.

236. Теперь мы познакомимся съ магнитнымъ состояніемъ земли, а равно съ его измѣненіями за послѣднія столѣтія, пользуясь отчасти картами Ганстена.

При помощи своей терреллы Гильбертъ могъ указать нѣсколько главныхъ особенностей магнитнаго состоянія земли. Эти главныя особенности были слѣдующія: склоненія различны въ различныхъ мѣстахъ; на поверхности земли есть точки, въ которыхъ магнитная стрѣлка отклонена къ востоку, есть точки, въ которыхъ она указываетъ какъ разъ на сѣверъ, и такія, въ которыхъ она отклонена къ западу.

Наклоненіе также различно въ различныхъ мѣстахъ. Гильбертъ правильно указывалъ, что наклоненіе къ сѣверу отъ Англіи увеличивается, а къ югу уменьшается. Онъ думалъ далѣе, что есть два магнитныхъ полюса—одинъ на сѣверномъ географическомъ полюсѣ, гдѣ сѣверный полюсъ магнитной стрѣлки указываетъ внизъ, а другой на южномъ географическомъ полюсѣ, гдѣ внизъ направленъ южный магнитный полюсъ стрѣлки. Соотвѣтственно этому, думалъ Гильбертъ, на экваторѣ магнитная стрѣлка должна висѣть въ горизонтальномъ положеніи и магнитный экваторъ долженъ совпадать съ географическимъ.

Взгляды Гильберта относительно наклоненія и магнитныхъ полюсовъ невѣрны, поскольку рѣчь идетъ о географическомъ положеніи. Земля имѣетъ два магнитныхъ полюса и одинъ магнитный экваторъ въ томъ смыслѣ, который даетъ этимъ словамъ Гильбертъ и въ которомъ они употребляются еще и теперь. Но положеніе полюсовъ и экватора отличается отъ того, какое предполагалъ Гильбертъ.

Магнитное состояніе земли можно прекрасно представить при помощи „магнитныхъ" линій.

Одну группу такихъ линій можно получить, соединивъ, согласно способу Галлея, линіями тѣ точки, въ которыхъ стрѣлка компаса имѣетъ одинаковое направленіе, т. е. гдѣ склоненіе или отклоненіе отъ линіи сѣвера-юга имѣетъ одну и ту же величину.

Эти линіи называются изогоническими линіями или изогонами. Рис. 185 представляетъ распредѣленіе склоненій для 1860 года. Числа на изогонахъ даютъ величину склоненія.

На линіяхъ, обозначенныхъ 0, магнитная стрѣлка указываетъ какъ разъ на сѣверъ. Одна изъ этихъ линій идетъ отъ Кольскаго полуострова мимо Петербурга черезъ Россію, перерѣзываетъ Каспійское море, обходитъ дугою Переднюю Индію и идетъ къ Австраліи и дальше на югъ. Другая такая линія проходитъ черезъ Гёдсоновъ заливъ и восточную часть Соединенныхъ Штатовъ и идетъ мимо Вестъ-Индіи черезъ Бразилію дальше къ югу. Остальныя линіи соотвѣтствуютъ—сплошныя западному, а пунктирныя восточному склоненію.

237. Легко видѣть, что всѣ безъ исключенія изогоны должны проходить

http://mathesis.ru

черезъ географическіе полюсы земли. Конечно, на географическихъ полюсахъ магнитная стрѣлка, какъ и на всякомъ другомъ мѣстѣ земной поверхности, устанавливается въ опредѣленномъ направленіи, но это направленіе не можетъ быть опредѣлено по отношенію къ линіи сѣвера-юга, такъ какъ черезъ полюсы проходятъ всѣ географическіе меридіаны. Такимъ образомъ, на полюсахъ можно опредѣлять положеніе магнитной стрѣлки какъ относительно меридіана Парижа, напримѣръ, такъ

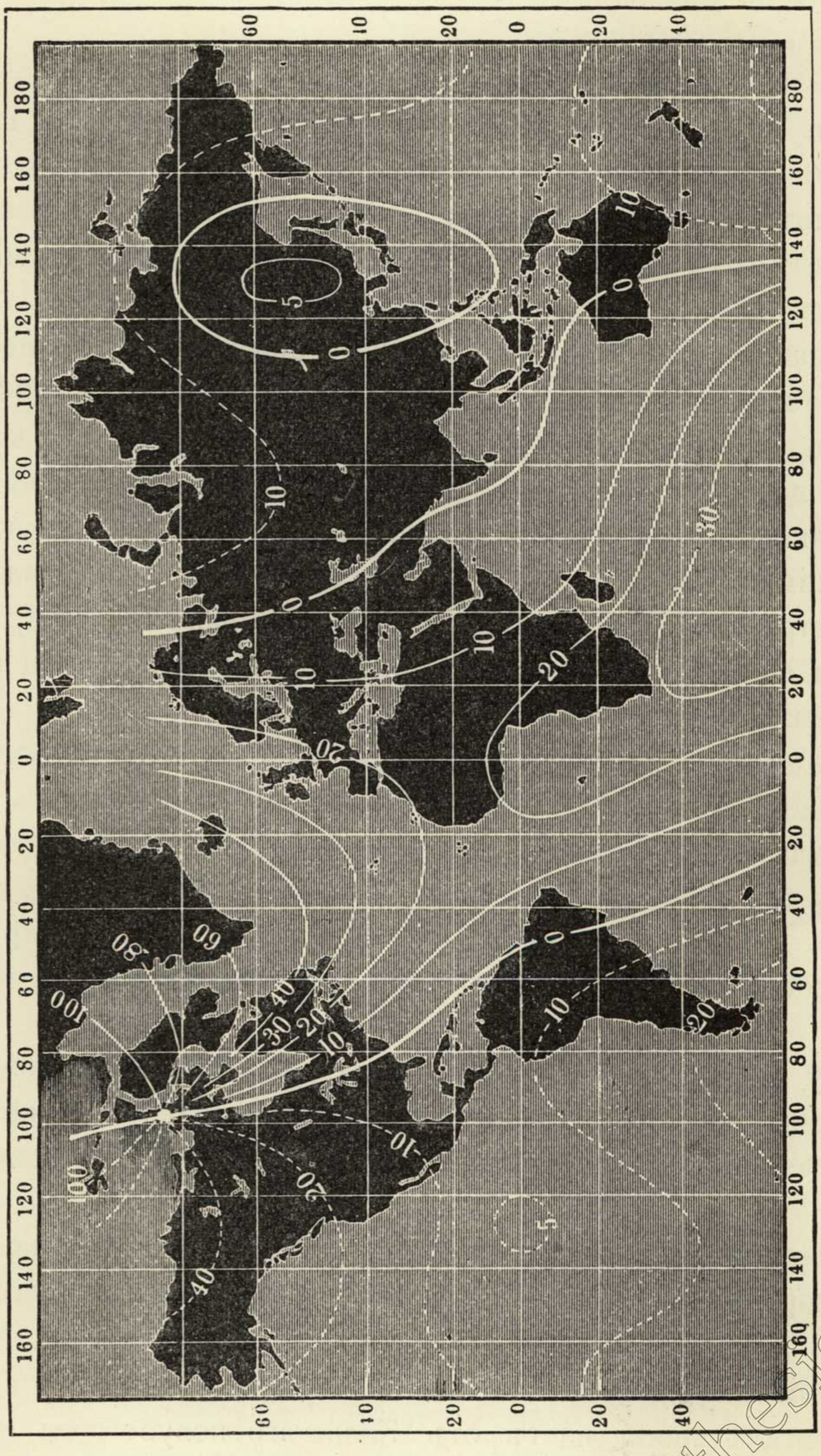


Рис. 185. Карта склоненій для 1860 года.

и относительно меридіана Маниллы: на полюсѣ эти меридіаны пересѣкаются. Удаляясь отъ полюса, можно такъ выбрать свой путь, что стрѣлка получитъ какое угодно склоненіе, т. е. всѣ изогоны проходятъ черезъ географическіе полюсы.

Но на земной поверхности есть, кромѣ того, еще двѣ другихъ точки, черезъ которыя проходятъ всѣ изогоны, именно тѣ двѣ точки, въ которыхъ стрѣлка наклоненія стоитъ отвѣсно, т. е. магнитные полюсы. Въ этихъ точкахъ склоненіе также можетъ

http://mathesis.ru

имѣть какую угодно величину. Въ самомъ дѣлѣ, въ этихъ точкахъ магнитизмъ земли дѣйствуетъ не по горизонтальному, а только по вертикальному направленію. Удаляясь же отъ магнитнаго полюса, можно, очевидно, идти по любой изогонѣ.

Эта замѣчательная особенность изогонъ, что онѣ должны проходить и черезъ магнитные и черезъ географическіе полюсы, обусловливается очевидно не какой-либо своеобразной особенностью земного магнитизма, а только тѣмъ способомъ, который былъ принятъ для представленія направленій магнитной стрѣлки. Еслибы для этой цѣли были взяты линіи, которыя даютъ для каждаго мѣста направленіе магнитной стрѣлки, то географическіе полюсы не имѣли бы той особенности, которую имъ даютъ изогоны. Черезъ географическіе полюсы проходила бы только одна такая линія.

Непосредственными измѣреніями опредѣлено положеніе только одного изъ двухъ магнитныхъ полюсовъ. Въ 1831 году извѣстный англійскій полярный изслѣдователь Джонъ Россъ (1777—1856) достигъ сѣвернаго магнитнаго полюса. Онъ находится на открытомъ Россомъ полуостровѣ Боотія Феликсъ въ арктической части Америки подъ 70° 30′ сѣверной широты и 97° 40′ западной долготы. Южнаго магнитнаго полюса еще не достигли, но его положеніе было вычислено на основаніи расположенія магнитныхъ линій, причемъ было найдено, что онъ лежитъ къ югу отъ Тасманіи подъ 73° 39′ южной широты и 146° 15′ восточной долготы.

238. Нулевыя изогоны раздѣляютъ поверхность земли на двѣ неравныя части. Въ одной изъ этихъ частей, включающей Атлантическій океанъ, склоненіе западное, въ другой части, которая охватываетъ Азію, Тихій океанъ и бо̀льшую часть Америки, склоненіе восточное.

Если направляться отъ нулевой изогоны Стараго Свѣта къ западу, начиная съ сѣвера Норвегіи, то западное склоненіе магнитной стрѣлки будетъ постоянно увеличиваться, т. е. идя такимъ образомъ, мы проходили бы послѣдовательно черезъ всѣ изогоны. Перейдя къ другой нулевой изогонѣ къ сѣверу отъ магнитнаго полюса, мы даже нашли бы склоненіе 180°,—другими словами, сѣверный полюсъ магнитной стрѣлки указывалъ бы на югъ—по направленію отъ сѣвернаго географическаго полюса къ магнитному.

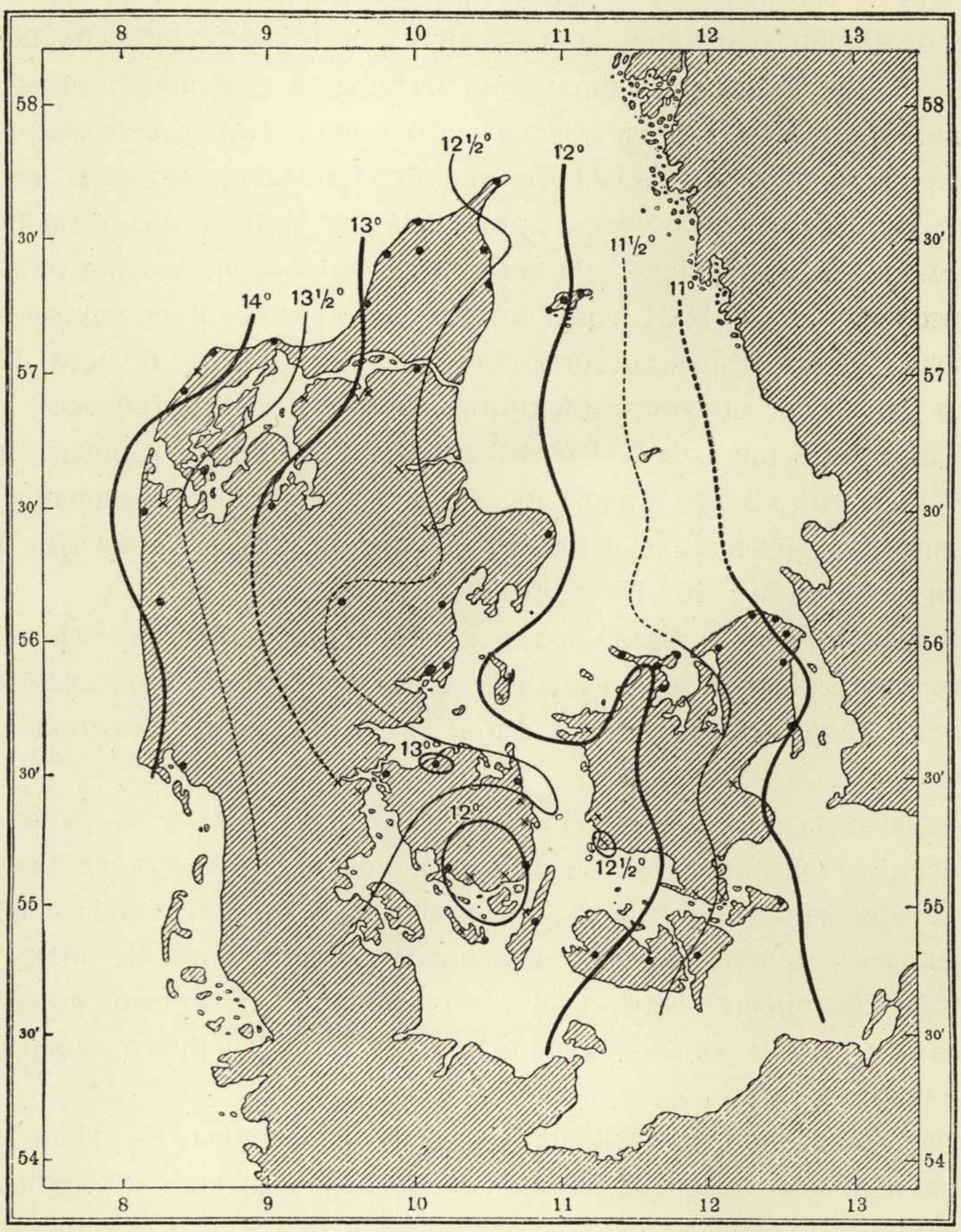
Напротивъ того, направляясь изъ Сѣверной Европы въ Нью-Іоркъ, мы отъ одной нулевой изогоны перешли бы почти непосредственно къ другой и, слѣдовательно, склоненіе не увеличивалось бы непрерывно. Приблизительно до 30° западной долготы оно увеличивается, но затѣмъ снова убываетъ съ приближеніемъ къ другой нулевой изогонѣ. Такъ же обстоитъ дѣло и въ южномъ полушаріи, т. е. по направленію къ полюсу измѣненія склоненія гораздо больше, чѣмъ по направленію къ экватору.

239. Не слѣдуетъ, однако, забывать, что карта рис. 185 представляетъ только важнѣйшія особенности распредѣленія изогонъ. На самомъ дѣлѣ онѣ идутъ гораздо неправильнѣе, какъ это ясно показываетъ рис. 186. Послѣдняя карта составлена Адамомъ Паульсеномъ, директоромъ метеорологическаго института въ Копенгагенѣ. Изогона $12^1/_2{}^0$ (западн.) сначала идетъ въ юговосточномъ направленіи, затѣмъ въ южномъ до окрестностей Ааргуса, далѣе описываетъ большую дугу къ западу, проходитъ къ сѣверу отъ Фюнена къ Большому Бельту, тамъ поворачиваетъ рѣзкимъ изломомъ и черезъ Фюненъ и Малый Бельтъ проходитъ къ Альсену. Изогона 12° также сильно искривлена, а въ южной части Фюнена есть даже замкнутая изогона 12°.

http://mathesis.ru

Еще болѣе замѣчательный примѣръ неправильнаго распредѣленія изогонъ представляетъ островъ Борнгольмъ и его окрестности (рис. 187). Еслибы склоненіе убывало равномѣрно отъ Зеландіи до Борнгольма, то на западномъ берегу острова оно

Рис. 186



Расположеніе изогонъ въ Даніи (1891).

должно было бы составлять $9^1/_2{}^0$, а на восточномъ берегу $9^1/_4{}^0$ (западн.). Но близъ Гасле, на западномъ берегу склоненіе составляетъ только 7^0, а вблизи Сванеке (на восточномъ берегу) свыше $10^1/_2{}^0$. Это явленіе обусловлено тѣмъ, что этотъ островъ состоитъ изъ гранита, содержащаго желѣзо и отклоняющаго стрѣлку въ сторону суши. Поэтому склоненіе на западномъ берегу меньше, чѣмъ на восточномъ.

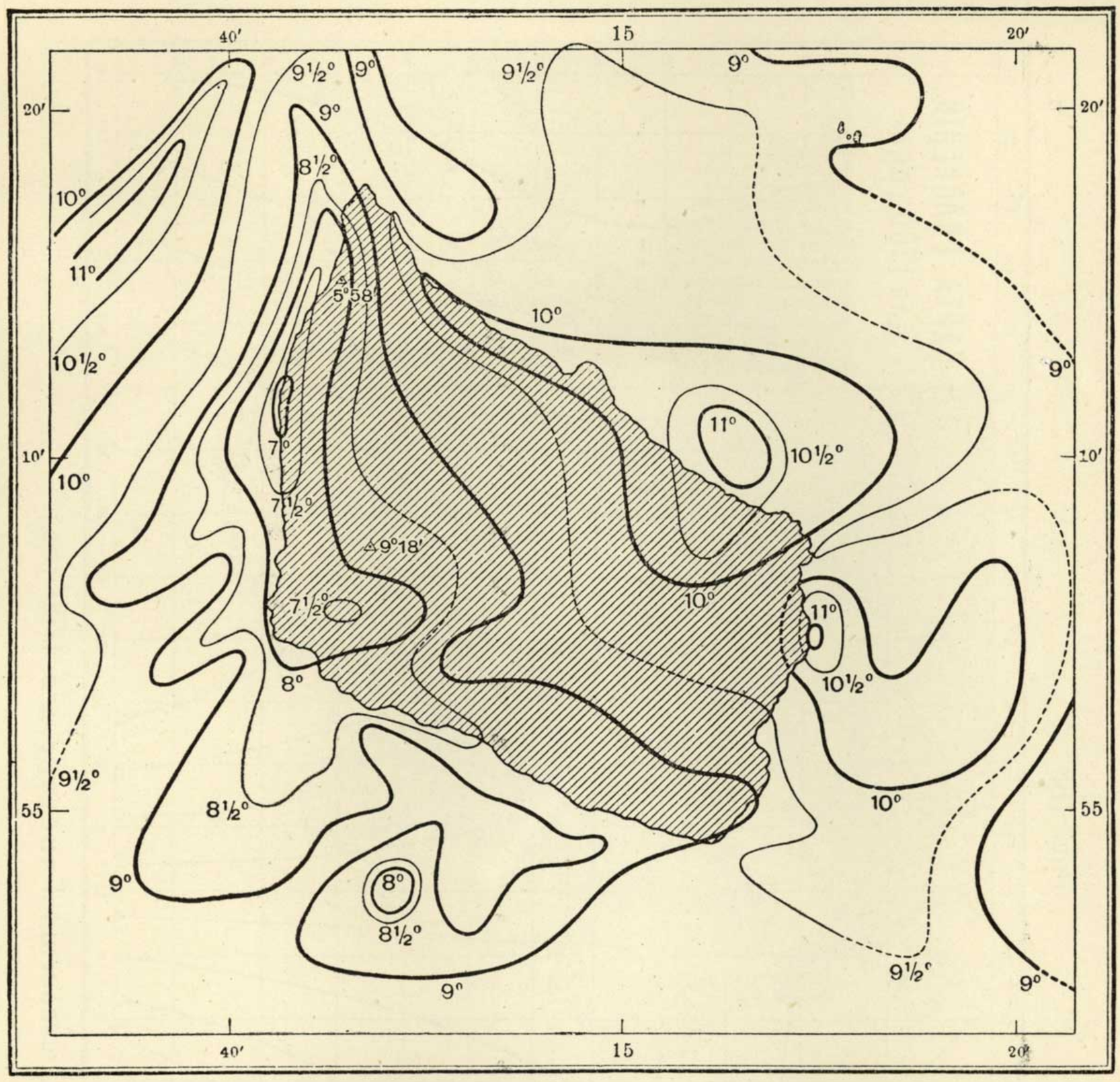
240. На картѣ рис. 185 кромѣ двухъ нулевыхъ изогонъ, идущихъ отъ полюса къ полюсу, есть еще одна замкнутая линія, лежащая частью въ восточной Азіи, частью въ Тихомъ океанѣ, на которой склоненіе равно нулю. Внѣ этой замкнутой линіи склоненіе восточное, внутри ея западное (до 5^0). Распредѣленіе магнитизма здѣсь, очевидно, еще своеобразнѣе, чѣмъ на Борнгольмѣ и на замкнутой изогонѣ Фюнена.

Но, какъ показалъ уже Геллибрандъ (§ 226), и нулевая и другія изогоны не остаются неподвижными. Двѣ карты рис. 188 и рис. 189, взятыя изъ магнитнаго атласа

http://mathesis.ru

Ганстена, даютъ положеніе изогонъ для 1700 и 1800 годовъ. Сравнивая ихъ съ картой для 1860 года (рис. 185), можно ясно видѣть перемѣщеніе изогонъ съ теченіемъ времени.

Рис. 187



Расположеніе изогонъ на о. Борнгольмѣ и вокругъ него (1891).

Слѣдующее сопоставленіе показываетъ, какъ измѣнялось склоненіе съ теченіемъ времени въ Копенгагенѣ и въ Лондонѣ:

Копенгагенъ		Лондонъ	
Годъ	Склоненіе	Годъ	Склоненіе
—	—	1576	11°15′ къ востоку
—	—	1634	4° 5′ „
1649	1°30′ къ востоку	—	—
—	—	1657	0° 0′ „
1672	2°30′ къ западу	1672	2°30′ къ западу
1730	10°37′ „	1720	13° 0′ „
1792	18°23′ „	1790	23°39′ „
1807	18°26′ „	1800	24°36′ „
1819	18° 6′ „	—	—
—	—	1831	24° 0′ „
1848	16°23′ „	—	—
1878	12° 2′ „	1878	19° 4′ „
1883	11°38′ „	—	—
1891	11° 1′ „	—	—

http://mathesis.ru

Такимъ образомъ, около 1660 года нулевая изогона проходила черезъ Копенгагенъ. До этого времени склоненіе было восточное, а послѣ 1660 года оно стало западнымъ, причемъ достигло наибольшей величины около 1808 года. Съ этого времени стрѣлка снова возвращается къ востоку. Стрѣлку склоненія можно разсматри-

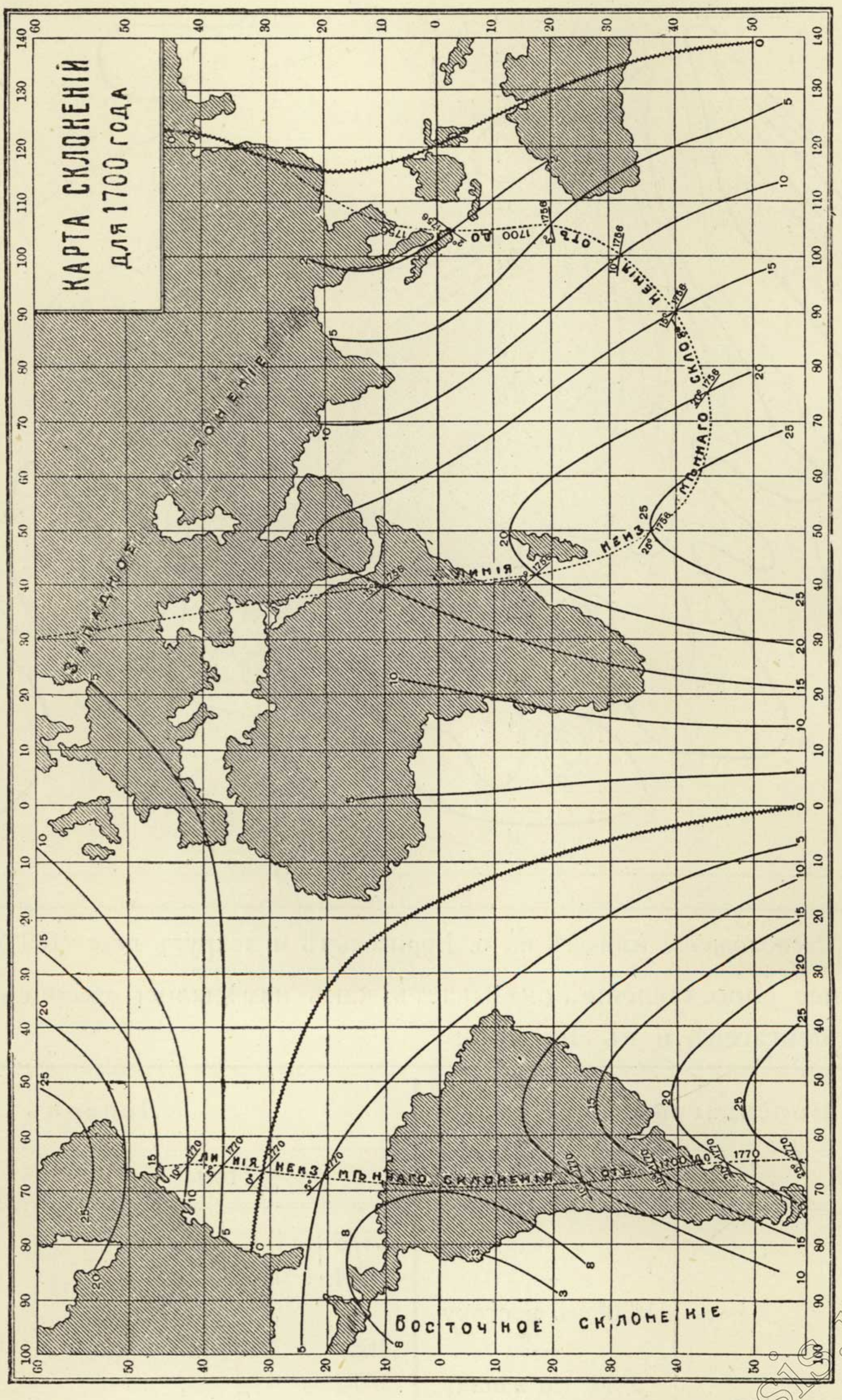


Рис. 188

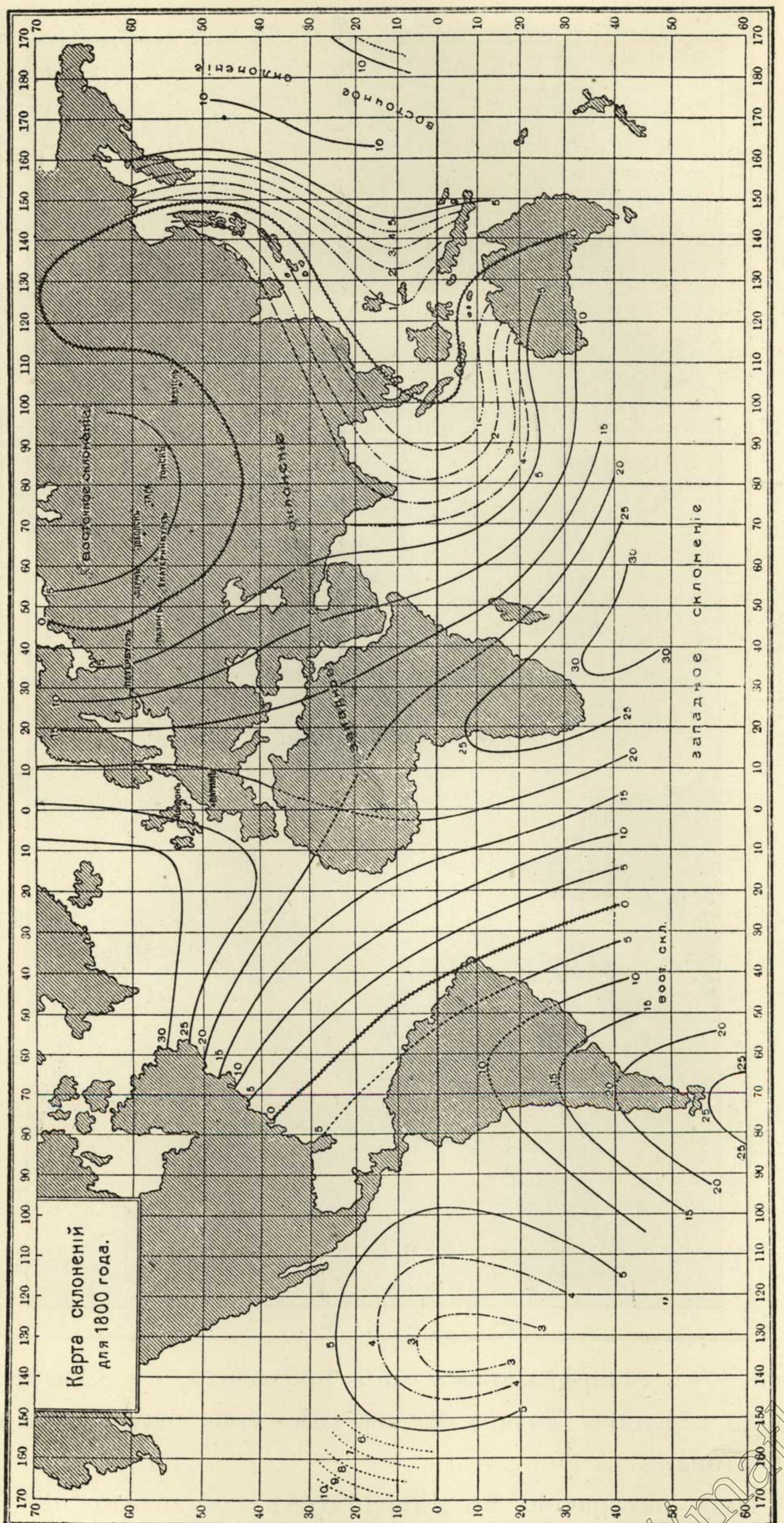
Карта склоненій Ганстена для 1700 года.

вать, какъ родъ маятника, который совершаетъ чрезвычайно медленныя колебанія съ востока на западъ и обратно. Въ Копенгагенѣ стрѣлкѣ понадобилось около 148 лѣтъ, чтобы перейти отъ сѣвернаго положенія къ крайнему западному. Но годовое измѣненіе въ различныя времена было различно; въ настоящее время оно составляетъ для Копенгагена 5′. Поэтому нельзя сказать, понадобится ли стрѣлкѣ для возвращенія къ сѣверному положенію столько же времени. Вѣроятно для совершенія полнаго колебанія стрѣлкѣ потребуется около 600 лѣтъ.

http://mathesis.ru

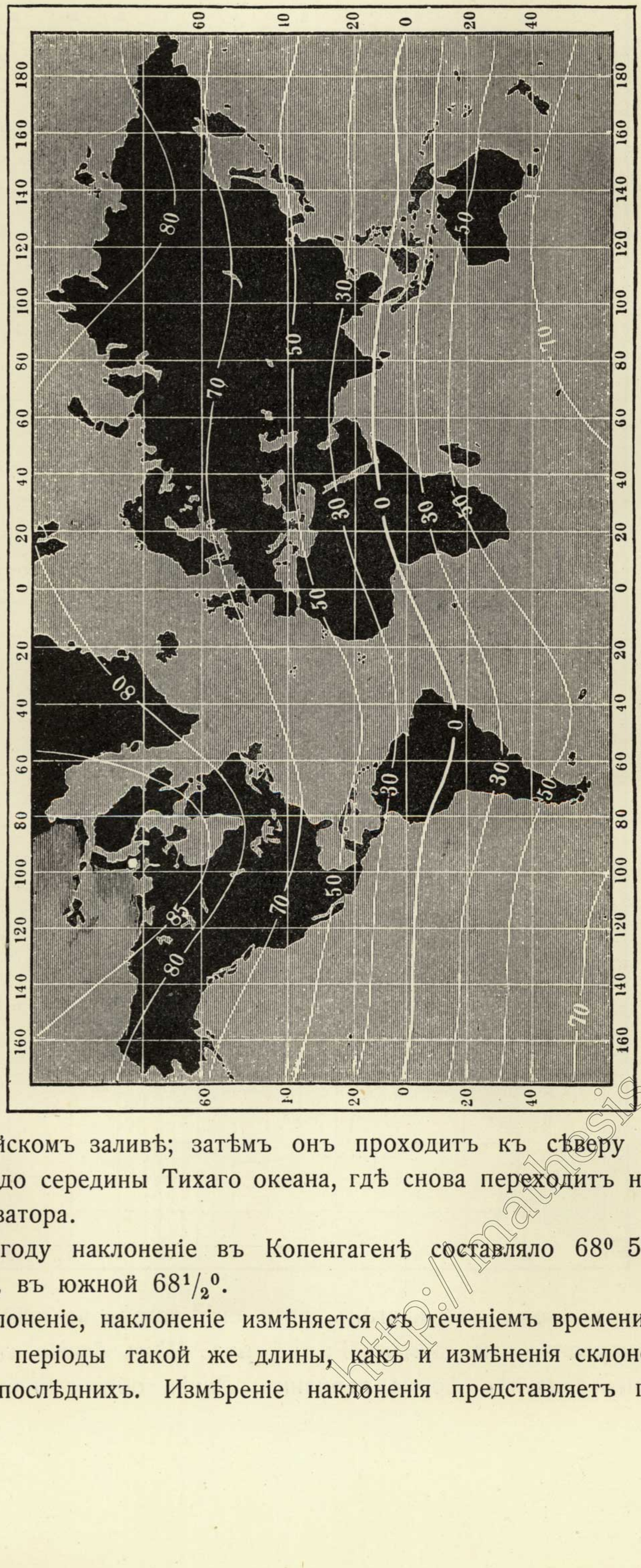
241. Чтобы получить распредѣленіе положеній стрѣлки наклоненія въ разныхъ мѣстахъ земной поверхности, на картѣ соединили (по предложенію Вильке, § 228) тѣ точки, въ которыхъ наклоненіе одно и то же. Такимъ образомъ получаются такъ называемыя изоклиническія линіи или изоклины. Какъ показываетъ рис. 190,

Рис. 189


Карта склоненій
для 1800 года.
Восточное склоненіе
западное склоненіе
Петербургъ
Москва
Тобольскъ
Якутскъ
Нижній
Казань
Тифлисъ
Барнаулъ
Екатеринбургъ
Тюмень
Тобольскъ
Якутскъ
Нижній
Казань
Тифлисъ
Барнаулъ
Екатеринбургъ
Тюмень
Восточное склоненіе
западное склоненіе
Восточное склоненіе
западное склоненіе
Восточное склоненіе
западное склоненіе

представляетъ магнитный экваторъ, т. е. ту линію, на которой стрѣлка наклоненія устанавливается горизонтально. Къ сѣверу отъ этой линіи направленъ внизъ сѣверный полюсъ стрѣлки, а къ югу отъ нея южный. Магнитный экваторъ лежитъ частью къ сѣверу, а частью къ югу отъ географическаго экватора и пересѣкаетъ географи-

Рис. 190



Карта наклоненій для 1860 года.

ческій въ Гвинейскомъ заливѣ; затѣмъ онъ проходитъ къ сѣверу отъ послѣдняго приблизительно до середины Тихаго океана, гдѣ снова переходитъ на югъ отъ географическаго экватора.

Въ 1893 году наклоненіе въ Копенгагенѣ составляло 68° 50′, въ сѣверной Ютландіи $70^1/_2{}^0$, въ южной $68^1/_2{}^0$.

Какъ и склоненіе, наклоненіе измѣняется съ теченіемъ времени. Эти измѣненія происходятъ въ періоды такой же длины, какъ и измѣненія склоненія, но они гораздо меньше послѣднихъ. Измѣреніе наклоненія представляетъ гораздо бо́льшія

http://mathesis.ru

трудности, чѣмъ измѣреніе склоненія. Подвѣшиваніе и намагничиваніе стрѣлки наклоненій должны быть сдѣланы чрезвычайно тщательно для того, чтобы измѣренія вышли сколько-нибудь вѣрными. Для полученія точной величины наклоненія необходимо произвести цѣлый рядъ опредѣленій, о которыхъ мы не можемъ говорить здѣсь подробнѣе. Эти трудности объясняютъ, почему изъ прошлаго у насъ имѣется гораздо меньше свѣдѣній о наклоненіи, чѣмъ о склоненіи. Въ Лондонѣ наклоненіе возрастало приблизительно до 1720 года. Въ этомъ году его величина составляла 74° 42′. Съ тѣхъ поръ оно непрерывно уменьшается; въ 1879 году оно было равно 67° 42′.

Въ Даніи наклоненіе уменьшалось все время, за которое имѣются вѣрныя свѣдѣнія. Въ 1820 году оно было равно 70° 37′, а въ 1892 всего только 68° 50′ [1]). Съ тѣхъ поръ наклоненіе не измѣнилось замѣтнымъ образомъ, такъ что принимаютъ, что оно уже достигло своей наименьшей величины.

242. До Ганстена интересовались главнымъ образомъ только измѣреніемъ склоненій, такъ какъ оно имѣетъ большое практическое значеніе. Но Ганстенъ собиралъ матеріалъ не только для картъ наклоненія,—онъ придавалъ большое значеніе опредѣленіямъ силы земного магнитизма для различныхъ мѣстъ. Онъ понималъ, что сила или напряженіе земного магнитизма представляетъ такой же важный элементъ магнитнаго состоянія земли, какъ и направленіе магнитной стрѣлки. На это обращалъ вниманіе еще Борда (1733—1799) и отдѣльныя измѣренія дѣлались еще во второй половинѣ XVIII вѣка. Но лишь наблюденія Александра фонъ-Гумбольдта, произведенныя имъ во время путешествія по Америкѣ (въ 1798—1804 годахъ), поставили эти вопросы на очередь въ ученыхъ кругахъ. Гумбольдтъ опредѣлялъ напряженіе земного магнитизма, согласно указанію Борда, при помощи колебаній магнитной стрѣлки. Здѣсь не мѣсто для подробнаго изложенія того, какъ производятся эти опыты, трудные во многихъ отношеніяхъ. Но легко видѣть, что магнитную силу земли можно измѣрить при помощи колебаній магнита тѣмъ же способомъ, какимъ измѣряется притягательная сила земли при помощи колебаній маятника. Для опредѣленія полной магнитной силы земли Гумбольдтъ заставлялъ колебаться стрѣлку наклоненія въ магнитномъ меридіанѣ. Если же онъ хотѣлъ опредѣлить только горизонтальную слагающую этой магнитной силы, что̀ значительно легче, то онъ заставлялъ качаться стрѣлку склоненія, сосчитывая колебанія, которыя она совершала въ опредѣленное время.

Гумбольдтъ нашелъ, что въ Перу магнитная сила земли была меньше всего на магнитномъ экваторѣ. Она возрастала и къ сѣверу и къ югу. Изъ этого наблюденія Гумбольдтъ сдѣлалъ выводъ, что магнитная сила возрастаетъ по направленію отъ магнитнаго экватора къ магнитнымъ полюсамъ и здѣсь достигаетъ наибольшей величины. Однако, позднѣе онъ самъ убѣдился въ томъ, что онъ ошибался. До Гумбольдта былъ общераспространенъ взглядъ, что сила земного магнитизма одна и та же повсюду на землѣ. Гумбольдтъ нашелъ, что это не такъ, и первыя наблюденія повидимому указывали на простую связь между силой земного магнитизма и изоклинами. Но когда нападаешь на слѣдъ какого-нибудь закона природы, то, какъ пишетъ самъ Гумбольдтъ, взгляды, складывающіеся вначалѣ, въ большинствѣ случаевъ позднѣе нуждаются въ поправкахъ.

---

[1]) Лучи сѣверныхъ сіяній, какъ мы увидимъ ниже, сходятся въ той точкѣ неба, на которую указываетъ южный полюсъ стрѣлки наклоненія. На основаніи рисунковъ Тихо Браге было вычислено, что наклоненіе на островѣ Гвенѣ въ 1584 году составляло 72° 25′.

http://rapesi.ru

Первая сколько-нибудь точная карта величинъ силы земного магнитизма въ различныхъ мѣстахъ земной поверхности была опубликована въ 1826 году Ганстеномъ. Линіи, соединяющія тѣ мѣста, въ которыхъ напряженіе земного магнитизма имѣетъ одну и ту же величину, называются изодинамическими линіями или изодинамами. Предположеніе Гумбольдта, что сила земного магнитизма возрастаетъ по направленію отъ экватора къ полюсамъ, въ общемъ справедливо, но эта сила достигаетъ наибольшей величины не на самыхъ полюсахъ.

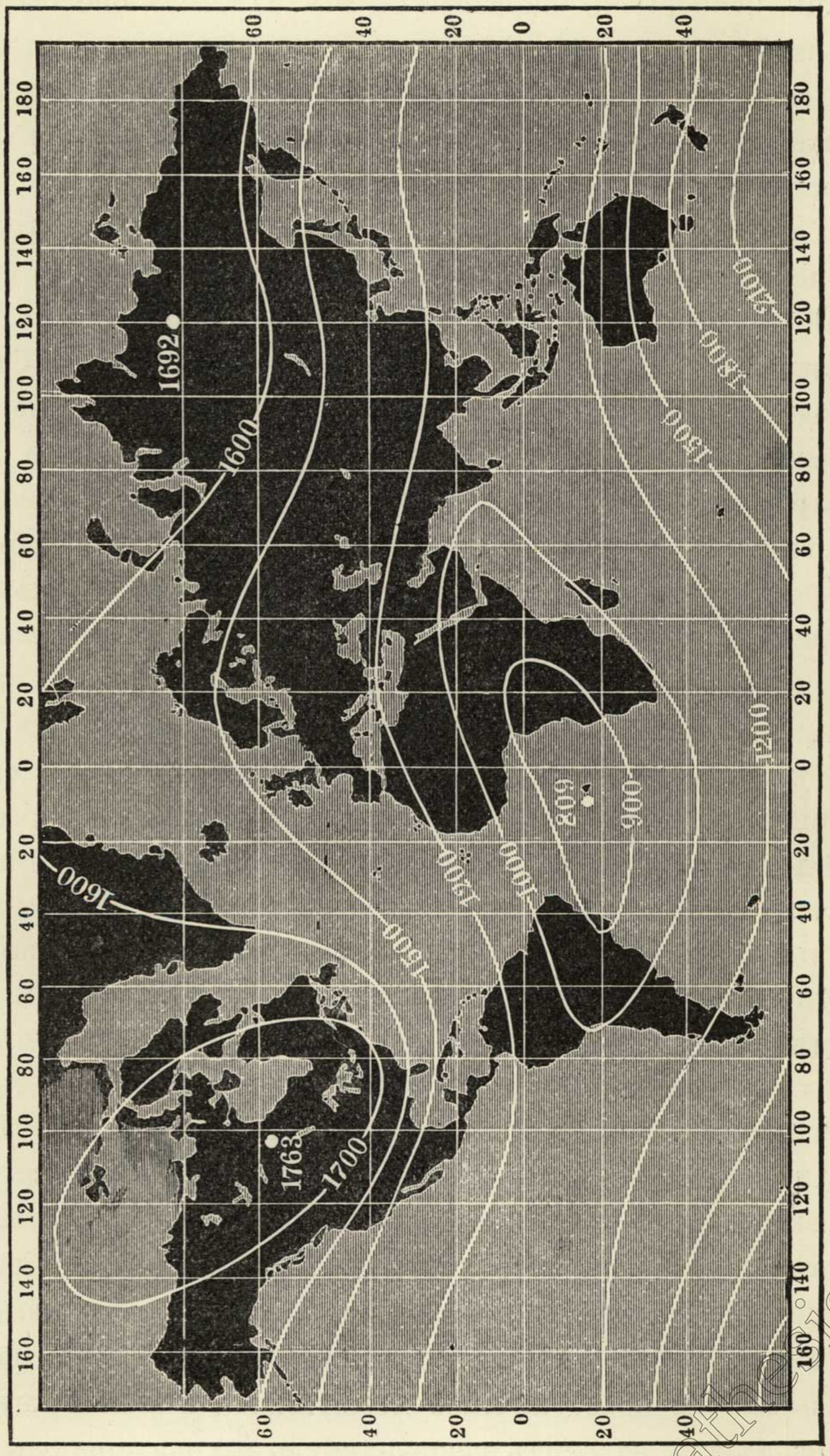


Рис. 191

Изодинамы для 1835 года.

Рисунокъ 191 даетъ распредѣленіе изодинамъ для 1835 года. Въ сѣверномъ полушаріи вблизи магнитнаго полюса находится точка, въ которой сила земного магнитизма больше, чѣмъ въ окружающихъ мѣстахъ (эта точка обозначена числомъ 1763). Второй максимумъ сѣвернаго полушарія лежитъ въ сѣверной Азіи (1692). Въ этомъ мѣстѣ сила нѣсколько меньше, чѣмъ въ первомъ. Какъ видно изъ рисунка, изоди-

http://mathelis.ru

намы расположены неправильно и между ними есть даже замкнутыя кривыя. Числа при нихъ указываютъ величины магнитной силы въ соотвѣтственныхъ мѣстахъ, выраженныя произвольно выбранной единицей. Въ южномъ полушаріи максимумъ силы находится на большомъ разстояніи отъ магнитнаго полюса. Впрочемъ, точность опредѣленія максимальныхъ пунктовъ здѣсь еще очень сомнительна. Между Африкой и Южной Америкой находится точка минимума. Она обозначена на картѣ числомъ 809.

243. Среди тѣхъ, кого работы Ганстена направили на изслѣдованіе земного магнитизма, на первомъ мѣстѣ нужно поставить великаго математика и астронома Карла Фридриха Гаусса. Онъ родился въ бѣдной семьѣ въ Брауншвейгѣ въ 1777 году, посѣщалъ гимназію своего родного города и затѣмъ поступилъ въ Гёттингенскій университетъ. Еще будучи студентомъ, онъ обратилъ на себя вниманіе статьею о построеніи нѣкоторыхъ правильныхъ многоугольниковъ, напримѣръ, семнадцатиугольника, а въ возрастѣ 25 лѣтъ онъ опубликовалъ свое знаменитое вычисленіе орбиты планеты Цереры (I, § 313). Эта работа, которая и теперь еще представляетъ основу теоретической астрономіи, вышла въ 1809 году, слѣдовательно, 200 лѣтъ спустя послѣ появленія знаменитой Astronomia nova Кеплера, въ дополненномъ видѣ подъ названіемъ „Теорія движенія небесныхъ тѣлъ“. И подобно тому, какъ Кеплеръ въ предисловіи къ своему труду могъ говорить, что превосходному полководцу Тихо удалось проникнуть военныя хитрости Марса и дать матеріалъ для вычисленія планетныхъ орбитъ, такъ Гауссъ могъ писать, что ему удалось справиться съ орбитами кометъ: „Благодаря новымъ побѣдамъ, одержаннымъ при помощи Ньютонова закона притяженія, удалось, наконецъ, обуздать кометы, которыя долгое время блуждали, казалось, не подчиняясь никакому закону, и которыя постоянно оказывались бунтовщицами, когда ихъ считали уже побѣжденными; теперь онѣ уже болѣе не враги, а дружественныя гостьи“.

Рис. 192



Гауссъ и Веберъ.

Въ области математики Гауссъ прокладывалъ новые пути въ различныхъ направленіяхъ. Мы упомянемъ здѣсь только изобрѣтеніе способа наименьшихъ квадратовъ, который находитъ широкое примѣненіе въ исчисленіи вѣроятностей, напримѣръ, въ томъ случаѣ, когда изъ ряда добытыхъ опытомъ результатовъ, неизбѣжно содержащихъ ошибки наблюденій, желаютъ вывести возможно точное среднее значеніе.

Какъ и Ньютонъ, Гауссъ имѣлъ обыкновеніе подолгу не публиковать своихъ работъ, изъ-за чего нерѣдко долженъ былъ уступать другимъ честь перваго рѣшенія важныхъ математическихъ задачъ.

Послѣ того какъ Гауссъ окончилъ университетъ, герцогъ Брауншвейгскій, который оказывалъ ему поддержку въ видѣ стипендіи во время прохожденія университетскаго курса, назначилъ ему содержаніе по 400 талеровъ въ годъ; это содержаніе было повышено до 650 талеровъ, послѣ того какъ Гауссъ отклонилъ пред-

http://mathesis.ru

ложеніе занять должность директора Петербургской обсерваторіи. Съ 1807 года онъ былъ профессоромъ и директоромъ обсерваторіи въ Гёттингенѣ. Отклонилъ онъ также и приглашеніе въ Берлинъ. Гауссъ вообще неохотно покидалъ Гёттингенъ, даже если дѣло шло о маленькомъ путешествіи. Однако, его удалось убѣдить принять участіе въ съѣздѣ естествоиспытателей въ Берлинѣ въ 1828 году. Здѣсь онъ познакомился съ Вильгельмомъ Эдуардомъ Веберомъ, который въ то время былъ профессоромъ въ Галле. Дружба, связавшая при этомъ случаѣ этихъ двухъ людей, повела къ тому, что три года спустя Веберъ былъ приглашенъ въ Гёттингенъ.

Веберъ былъ родомъ изъ Виттенберга, гдѣ его отецъ былъ профессоромъ богословія. Уже въ возрастѣ 21 года (въ 1825 году) онъ, совмѣстно со своимъ братомъ Эрнестомъ Генрихомъ, опубликовалъ „Ученіе о волнахъ на основаніи опытовъ“. Позднѣе мы встрѣтимъ его имя въ ученіи объ электричествѣ. Здѣсь нужно упомянуть только о его дѣятельности въ области магнитизма.

Гауссъ занимался изслѣдованіями по земному магнитизму еще до того, какъ Веберъ переѣхалъ въ Гёттингенъ; онъ предложилъ послѣднему принять участіе въ этихъ работахъ. До этого Веберъ работалъ преимущественно въ области ученія о волнахъ и ученія о звукѣ. Не подлежитъ сомнѣнію, что Гауссъ получалъ отъ Вебера цѣнныя указанія при своихъ физико-математическихъ изслѣдованіяхъ, а что касается изслѣдованій о земномъ магнитизмѣ, то здѣсь большое значеніе имѣло вліяніе Александра фонъ-Гумбольдта.

244. Александръ фонъ-Гумбольдтъ былъ однимъ изъ наиболѣе выдающихся ученыхъ, которые въ началѣ XIX вѣка дали сильный толчокъ къ новому всесторонему и глубокому научному изслѣдованію и идеаломъ которыхъ являлось общество, гдѣ руководящую роль должны играть дѣйствительно образованные люди. Александръ фонъ-Гумбольдтъ и его братъ, языковѣдъ и государственный дѣятель Вильгельмъ фонъ-Гумбольдтъ, въ первой половинѣ XIX вѣка занимали въ германской умственной жизни положеніе, подобное тому, какое въ датской занимали братья Эрстеды. Каждый изъ нихъ былъ самостоятеленъ въ своей области, но онъ не былъ невѣждой и въ другихъ областяхъ. Они интересовались всѣми сторонами духовной жизни. Это не были односторонніе ученые спеціалисты—это были люди всесторонне образованные, для которыхъ ни одна область духовной жизни не оставалась незнакомой. Они вѣрили въ единство всей человѣческой духовной дѣятельности. Только даръ проникновенія можетъ дать духовно-самостоятельнымъ людямъ вѣру, теперь не очень распространенную, въ великую міровую гармонію. Многіе, конечно, могутъ быть поверхностно увлечены такимъ міровоззрѣніемъ, но только немногіе въ состояніи удержать его навсегда. Для этого нужна наполненная работой жизнь въ дѣйствительномъ мірѣ, а искусство понимать духовное величіе міра и въ то же время неизмѣнно и терпѣливо работать надъ кропотливыми мелочами встрѣчается рѣдко. Но этой способностью обладали оба Гумбольдта и оба Эрстеда. И потому именамъ этихъ братьевъ навсегда принадлежитъ почетное мѣсто въ исторіи наукъ.

Александръ фонъ-Гумбольдтъ родился въ 1769 году въ Берлинѣ. Вмѣстѣ съ братомъ Вильгельмомъ онъ подготовлялся къ научнымъ занятіямъ дома, а съ 1787 года онъ посвятилъ себя изученію естественныхъ наукъ, математическихъ, государственныхъ и лингвистическихъ во Франкфуртѣ-на-Одерѣ, въ Берлинѣ, въ Гёттингенѣ и въ Фрейбергѣ. Въ 1792 году онъ получилъ мѣсто въ горномъ департа-

http://mathesis.ru

ментѣ, а вскорѣ затѣмъ и мѣсто старшаго горнаго инженера во Франконіи. Въ 1797 году Гумбольдтъ вышелъ въ отставку, чтобы предпринять большое путешествіе для изслѣдованія Южной Америки. Вмѣстѣ съ французскимъ ботаникомъ Бонпланомъ (1773—1858) онъ получилъ отъ испанскаго правительства разрѣшеніе разъѣзжать по испанскимъ владѣніямъ въ Америкѣ. Это путешествіе продолжалось пять лѣтъ, а отчетъ о немъ выходилъ въ Парижѣ съ 1807 до 1827 года. Этотъ отчетъ

Рис. 193



Александръ фонъ-Гумбольдтъ.

состоитъ изъ 30 томовъ и содержитъ 1425 гравюръ на мѣди. Первыя нѣсколько лѣтъ по возвращеніи Гумбольдтъ провелъ въ Берлинѣ, затѣмъ переѣхалъ въ Парижъ, чтобы руководить изданіемъ описанія своего путешествія, а въ 1827 году снова вернулся въ Берлинъ. Въ 1829 году онъ принялъ участіе въ экспедиціи для изслѣдованія сѣверной Азіи, которая была предпринята по порученію русскаго императора Эренбергом ~~бахомъ~~ и Розе.

Прежде всего Гумбольдтъ хотѣлъ поднять въ общественномъ мнѣніи значеніе естествознанія. Онъ хотѣлъ связать изслѣдованіе природы съ общимъ духовнымъ развитіемъ человѣчества; подъ старость онъ попытался подвести итоги тому, чего онъ достигъ въ этомъ направленіи, въ своемъ большомъ трудѣ „Космосъ“. Въ предисловіи

http://mathesis.ru

къ этому труду, переведенному на всѣ главные языки, Гумбольдтъ говоритъ: „Когда внѣшнія условія жизни и непреодолимое стремленіе къ разнообразнымъ знаніямъ побуждали меня въ теченіе многихъ лѣтъ заниматься повидимому исключительно, для подготовки къ большому путешествію, отдѣльными дисциплинами, изучать описательную ботанику, географію, химію, астрономическое опредѣленіе мѣстъ и земной магнитизмъ, то все же настоящая цѣль этого обученія была болѣе высокой. Главнымъ побужденіемъ являлось стремленіе охватить явленія тѣлесныхъ вещей въ одной общей связи, понять природу, какъ нѣчто цѣлое, движимое и оживляемое внутренними силами. Благодаря знакомству съ высокоодаренными людьми, я рано пришелъ къ взгляду, что безъ серьезнаго стремленія къ познанію частностей всякое широкое и обобщающее міровоззрѣніе можетъ быть только призракомъ. Но въ естествознаніи и отдѣльныя части, по своей внутренней сущности, способны оплодотворять другъ друга какъ бы благодаря какой-то силѣ приспособленія. Описательная ботаника, не заключенная въ узкій кругъ опредѣленія родовъ и видовъ, ведетъ наблюдателя, странствующаго по далекимъ странамъ и по высокимъ горамъ, къ ученію о географическомъ распредѣленіи растеній на землѣ въ соотвѣтствіи съ разстояніемъ отъ экватора и съ высотой мѣста. А для того чтобы, въ свою очередь, выяснить запутанныя причины этого распредѣленія, нужно разобрать законы температурныхъ различій климатовъ и метеорологическихъ процессовъ атмосферы. Такъ каждый классъ явленій ведетъ любознательнаго наблюдателя къ другому классу, который лежитъ въ основѣ перваго или зависитъ отъ него“.

Гумбольдтъ хотѣлъ охватить въ своемъ трудѣ все знаніе о небесныхъ и земныхъ явленіяхъ. Его трудъ долженъ былъ дать физическое описаніе не только земли, но и всей вселенной.

Гумбольдта называли Аристотелемъ своего времени, и не безъ основанія, такъ какъ въ его „Космосѣ“ обнаруживается необычайный даръ собирать отдѣльныя явленія и составлять изъ нихъ одно стройное цѣлое.

О дѣятельности Гумбольдта въ области метеорологіи и климатологіи будетъ сказано ниже. Его возвышенный взглядъ на задачи изслѣдованія природы будетъ оказывать плодотворное вліяніе во всѣ времена. Его вліяніе было не только многостороннимъ, оно будетъ и продолжительнымъ. Гумбольдтъ умеръ въ 1859 году 90 лѣтъ отъ роду.

245. Въ области физическихъ явленій Гумбольдтъ особенно интересовался магнитными и метеорологическими. Соотношенія земного магнитизма указываютъ на то, что между различными частями воспринимаемой чувствами природы существуетъ связь, которая позволяетъ предполагать, что предметы, далекіе въ міровомъ пространствѣ другъ отъ друга, принадлежатъ одному цѣлому. Ньютоновъ законъ притяженія соединяетъ неразрывной связью всѣ тѣла, обмѣнъ свѣта и тепла происходитъ на разстоянія милліоновъ миль и явленія земного магнитизма даютъ дальнѣйшее доказательство связи между далекими другъ отъ друга міровыми тѣлами. Это вѣроятно и способствовало увеличенію интереса Гумбольдта къ этимъ явленіямъ и, какъ было уже упомянуто, онъ побудилъ Гаусса и Вебера заняться магнитными изслѣдованіями, такъ какъ понималъ, что изученіе подробностей можетъ дать возможность выработать и общій взглядъ на эти явленія.

Гауссъ основательно разработалъ математическую сторону вопроса о взаимо-

http://mathesis.ru

дѣйствіи магнитовъ. Плодомъ его продолжительныхъ занятій магнитными изслѣдованіями былъ знаменитый трудъ „Общія предложенія относительно притягательныхъ и отталкивательныхъ силъ, дѣйствующихъ обратно пропорціонально квадрату разстоянія“.

Для измѣренія магнитныхъ величинъ Гауссъ построилъ соотвѣтственные приборы. Вмѣстѣ съ Вебером̀ъ и Гумбольдтомъ ему удалось основать „магнитный кружокъ“, работавшій по заранѣе составленному плану. Такимъ образомъ было собрано много результатовъ наблюденій, произведенныхъ въ различныхъ мѣстахъ въ одно и то же время.—По возвращеніи изъ азіатскаго путешествія Гумбольдтъ побудилъ Петербургскую Академію наукъ устроить по всему государству магнитныя и метеорологическія станціи, а въ самой столицѣ центральную станцію. Такимъ образомъ, „магнитный кружокъ“ располагалъ большимъ числомъ станцій во всѣхъ странахъ Европы. Семь разъ въ году на этихъ станціяхъ измѣрялись магнитныя величины. Полученный матеріалъ обрабатывался и публиковался Гауссомъ и Вебером̀ъ.

Веберъ былъ въ числѣ семи извѣстныхъ Гёттингенскихъ профессоровъ, уволенныхъ въ отставку въ 1837 году за то, что они не признали реакціонной конституціи, введенной новымъ регентомъ. Однако, Веберъ оставался въ Гёттингенѣ до 1843 года, чтобы вмѣстѣ съ Гауссомъ продолжать магнитныя наблюденія и обрабатывать ихъ результаты. Отъ 1843 до 1847 года Веберъ былъ профессоромъ въ Лейпцигѣ. Въ послѣднемъ году онъ былъ снова приглашенъ въ Гёттингенъ. Гауссъ умеръ въ 1855 году, а Веберъ въ 1891 году.

246. Нужно помнить, что для объясненія особенностей распредѣленія земного магнитизма Ганстенъ долженъ былъ обратиться къ допущенію Галлея относительно четырехъ магнитныхъ полюсовъ. Тѣмъ не менѣе, ему не удалось достичь согласованія фактовъ съ теоріей. Поэтому Гауссъ отбросилъ предположеніе о существованіи одной или нѣсколькихъ магнитныхъ осей въ землѣ. Онъ исходилъ скорѣе изъ ясно высказанной гипотезы Гильберта, что земля есть большой магнитъ. Это нужно понимать, однако, въ томъ смыслѣ, что земля есть большой магнитъ потому, что въ ней и на ней находится огромное число малыхъ магнитовъ. Совокупность дѣйствій этой массы отдѣльныхъ магнитовъ и составляетъ земной магнитизмъ. Другими словами, Гауссъ исходилъ изъ того факта, что на землѣ и въ землѣ находятся магнитныя частицы, изъ которыхъ каждая содержитъ равное количество сѣвернаго и южнаго магнитизма. А такъ какъ магнитная сила дѣйствуетъ на разстояніе и подчиняется общему закону дѣйствій на разстояніе, то отдѣльные магниты должны быть всюду и должны въ любомъ мѣстѣ дѣйствовать совмѣстно, какъ одинъ большой магнитъ (ср. § 2[illegible]).

Гауссъ вывелъ математическую формулу, при помощи которой опредѣлялась величина и направленіе магнитной силы для каждаго мѣста земной поверхности.—Само собою разумѣется, формула Гаусса ничего не говоритъ о сущности земного магнитизма и о его отношеніи къ другимъ силамъ природы, какъ и Ньютоновъ законъ притяженія ничего не говоритъ о причинѣ притягательной силы. Гауссъ искалъ и нашелъ только выраженіе дѣйствительныхъ соотношеній. Къ вопросу о сущности земного магнитизма мы вернемся ниже (въ отдѣлѣ объ электричествѣ).

247. Открытыя Грэмомъ суточныя колебанія, равно какъ и другія періодическія колебанія земного магнитизма точно наблюдались на многочисленныхъ обсер-

http://mathesis.ru

ваторіяхъ. Въ сѣверномъ полушаріи стрѣлка склоненій между 7 и 8 часами утра достигаетъ самаго восточнаго своего положенія, а между 1 и 2 часами пополудни самаго западнаго. Въ южномъ полушаріи движеніе стрѣлки обратное. Суточныя колебанія, наименьшія въ экваторіальныхъ странахъ, наибольшія у полюсовъ, измѣняются также и по временамъ года, т. е. соотвѣтственно положенію на небѣ солнца. Вліяніе солнца на земной магнитизмъ ясно проявляется также черезъ посредство солнечныхъ пятенъ. Іоганнъ Ламонтъ (1805—1879), директоръ Мюнхенской обсерваторіи, въ 1851 году обратилъ вниманіе на то, что измѣненіе склоненія происходитъ періодически—съ періодомъ приблизительно въ $10^1/_2$ лѣтъ, а въ 1852 году Р. Вольфъ (1816—1893) въ Цюрихѣ показалъ, что этотъ періодъ земного магнитизма совпадаетъ съ періодомъ солнечныхъ пятенъ. Въ годы съ бо̀льшимъ количествомъ пятенъ магнитная стрѣлка безпокойна и колеблется больше, чѣмъ въ годы съ малымъ числомъ пятенъ.

Что вліяніе солнца на земной магнитизмъ не есть простое тепловое дѣйствіе, можно, по мнѣнію нѣкоторыхъ, заключить изъ того, что на магнитную стрѣлку вліяетъ также положеніе луны и другихъ небесныхъ тѣлъ.

Что касается движенія стрѣлки наклоненій, то наибольшимъ наклоненіе бываетъ въ 11 часовъ утра, а наименьшимъ въ 8 часовъ вечера. Соотвѣтственно, горизонтальная слагающая земного магнитизма достигаетъ минимума въ 11 часовъ и максимума въ 8 часовъ.

Измѣненія склоненія, наклоненія и горизонтальной магнитной силы лѣтомъ бываютъ больше, чѣмъ зимою.

248. Не слѣдуетъ, однако, думать, что эти суточныя колебанія очень правильны и что ихъ легко наблюдать. Вѣрнѣе будетъ сказать, что магнитная стрѣлка никогда не бываетъ въ покоѣ. Почти всегда можно наблюдать неправильныя магнитныя возмущенія. Когда они отличаются особой силой, ихъ называютъ магнитными бурями.

Причиною такой бури можетъ быть солнечное пятно. Такого рода буря, наблюдавшаяся какъ въ Старомъ, такъ и въ Новомъ Свѣтѣ, имѣла мѣсто 13—14 февраля 1892 года. Она началась, когда видимое простымъ глазомъ солнечное пятно проходило черезъ середину солнечнаго диска. Въ Копенгагенѣ магнитная стрѣлка отклонилась на $1^0\,20'$. Горизонтальная слагающая во время этой бури увеличилась, но затѣмъ быстро уменьшилась. Въ сѣверной Норвегіи, гдѣ также наблюдалась эта магнитная буря, стрѣлка уклонилась на 12^0 и повсюду на землѣ въ электрическихъ проводахъ наблюдались токи, мѣшавшіе работѣ телеграфа.

Сѣверныя сіянія и землетрясенія также сильно дѣйствуютъ на магнитную стрѣлку. Такъ, напримѣръ, одно землетрясеніе въ Греціи сопровождалось колебаніями магнитной стрѣлки по всей западной Европѣ.

Въ высшей степени важно слѣдить за этими магнитными бурями. Полное наблюденіе ихъ можно производить только при помощи самопишущихъ приборовъ, на которыхъ колебанія стрѣлки автоматически записываются лучемъ свѣта, дѣйствующимъ на свѣточувствительную бумагу.

Со стрѣлкой склоненій, подвѣшенной на шелковой нити, соединено зеркало, которое колеблется вмѣстѣ съ стрѣлкою. Лучъ свѣта, который отбрасывается на зеркало при помощи линзы, отражается послѣднимъ и попадаетъ на кусокъ свѣточувствительной бумаги, навернутой на валъ, приводимый въ равномѣрное вращеніе посредствомъ часового механизма. Такимъ образомъ свѣтовой лучъ производитъ на

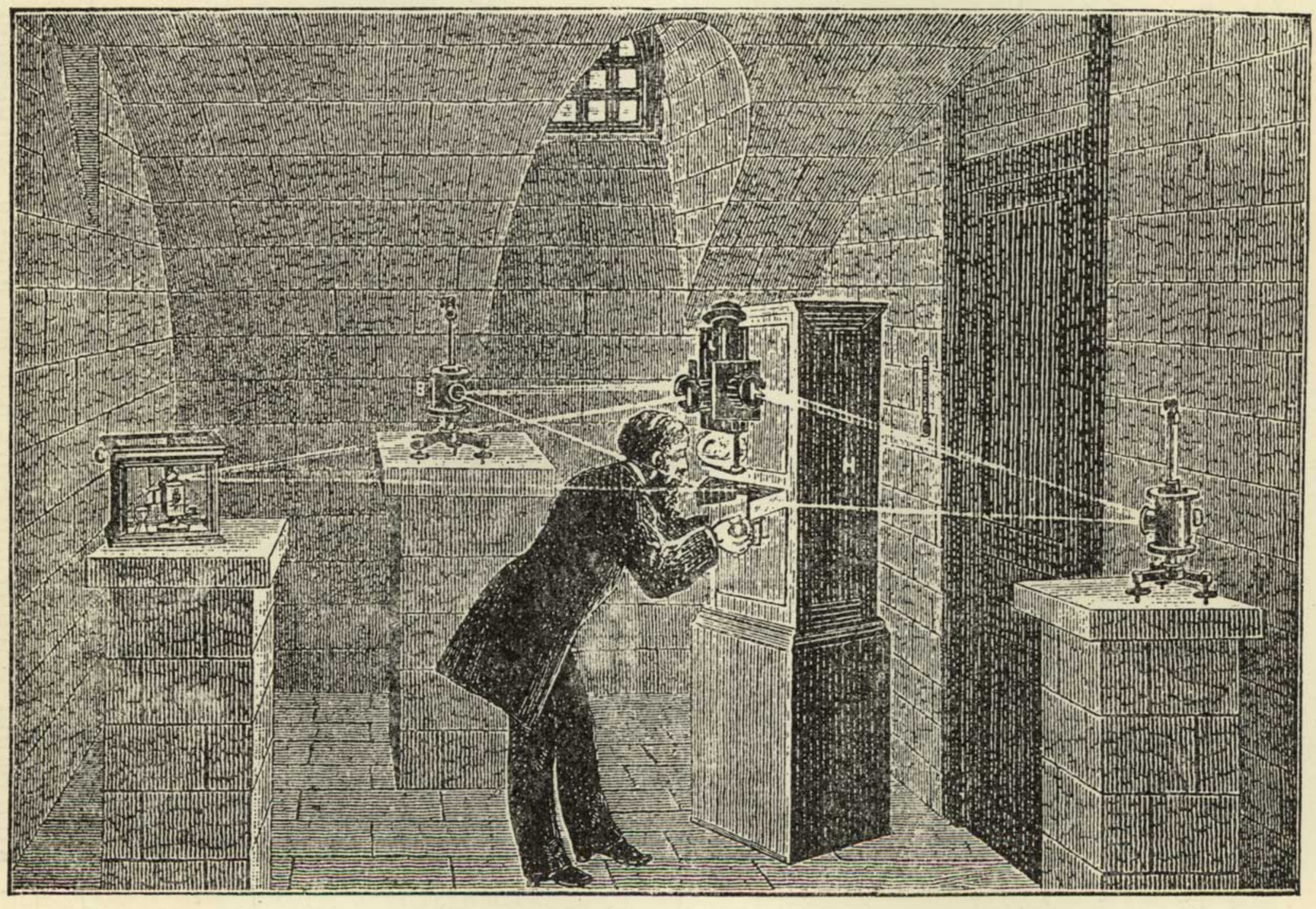
http://mathesis.ru

бумагѣ волнообразную линію соотвѣтственно колебаніямъ стрѣлки. Подобнымъ же образомъ можно регистрировать и колебанія стрѣлки наклоненій. Въ этомъ случаѣ зеркало должно колебаться вмѣстѣ со стрѣлкой наклоненій. При помощи небольшого груза стрѣлку наклоненій устанавливаютъ въ горизонтальномъ положеніи. Если вертикальная слагающая магнитной силы увеличивается, то сѣверный конецъ стрѣлки наклоняется нѣсколько внизъ, если же она уменьшается, то сѣверный конецъ стрѣлки нѣсколько подымается вверхъ: тѣ же движенія дѣлаетъ и зеркало.

Измѣреніе горизонтальной слагающей магнитной силы производится при помощи стрѣлки склоненій, подвѣшенной на двухъ нитяхъ (двунитный или бифилярный подвѣсъ). Стрѣлку устанавливаютъ въ магнитномъ меридіанѣ такъ, чтобы нити совершенно не были закручены. Вращеніемъ головки прибора стрѣлку заставляютъ стать перпендикулярно къ магнитному меридіану.

При измѣненіи горизонтальной слагающей магнитной силы подвѣшенная такимъ образомъ магнитная стрѣлка очевидно будетъ поворачиваться, притомъ такъ, что

Рис. 194



Самопишущіе приборы для наблюденій надъ земнымъ магнитизмомъ.

при увеличеніи магнитной силы сѣверный полюсъ стрѣлки будетъ слегка возвращаться къ первоначальному положенію, при уменьшеніи же ея стрѣлка будетъ закручиваться еще больше.

Рис. 194 показываетъ, какъ устанавливаются самопишущіе приборы. Для защиты отъ сотрясеній и измѣненій температуры ихъ помѣщаютъ въ погребѣ. Въ ящикѣ *H* находится часовой механизмъ, вращающій валъ со свѣточувствительной бумагой. Лампа *L* посылаетъ лучи къ прибору *D* для опредѣленій склоненія (деклинаторъ), къ прибору для наклоненія *C* (инклинаторъ) и къ прибору *B* для опредѣленія горизонтальной слагающей земного магнитизма. Зеркала этихъ трехъ приборовъ отбрасываютъ каждый по свѣтовому лучу на свѣточувствительную бумагу, на которой эти лучи зачерчиваютъ колебанія соотвѣтственныхъ стрѣлокъ. На рис. 195 предста-

http://mathesis.ru

влены кривыя, вычерченныя приборами магнитной обсерваторіи въ Копенгагенѣ во время магнитной бури 11 и 12 марта 1892 года. Эти рисунки вполнѣ понятны. Если-бы стрѣлки оставались въ покоѣ, то вычерчивались бы прямыя линіи. Такимъ обра-

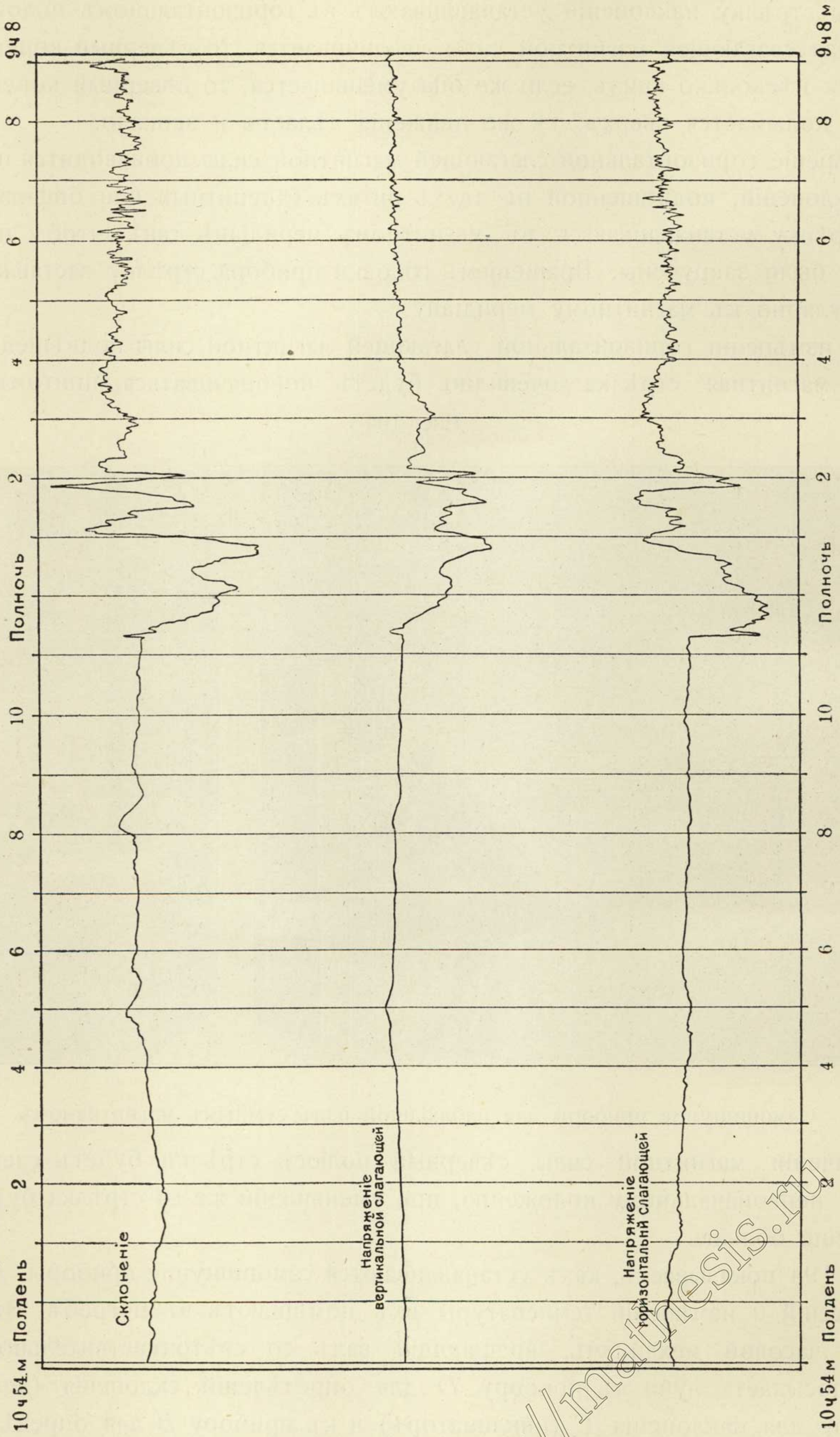


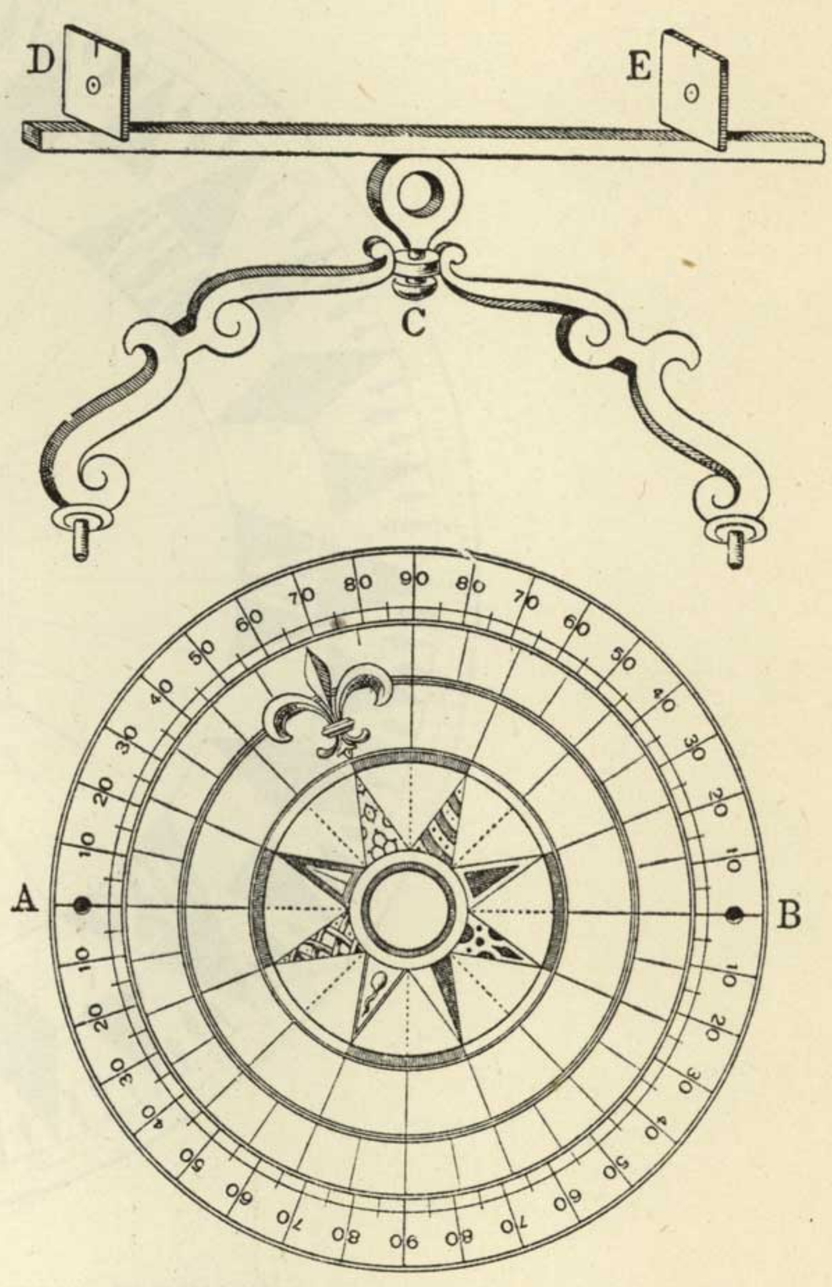
Рис. 195
Колебанія магнитной стрѣлки во время магнитной бури.

зомъ, отступленія отъ прямой линіи указываютъ движенія стрѣлокъ. Вертикальная слагающая земного магнитизма наблюдается на инклинаторѣ, а горизонтальная слагающая на магнитной стрѣлкѣ, подвѣшенной на двухъ нитяхъ.

http://mathesis.ru

249. Самые ранніе европейскіе судовые компасы состояли изъ магнитной стрѣлки, укрѣпленной на кускѣ пробки, которая плавала въ чашкѣ съ водой (ср. § 193, рис. 156). Но уже во времена Гильберта компасъ имѣлъ современное устройство. Рис. 196 представляетъ изображеніе компаса изъ книги Гильберта „De Magnete“. Самой магнитной стрѣлки не видно, она прикрѣплена къ нижней сторонѣ легкаго кружка, на верхней стороне котораго указаны страны свѣта. Теперь общепринято указывать мѣсто сѣвернаго полюса геральдическимъ изображеніемъ лиліи, которая, какъ извѣстно, представляла гербъ французскихъ королей. Этотъ обычай ввелъ Флавіо Джойа (§ 197), желавшій почтить изображеніемъ лиліи властителя Неаполя, происходившаго изъ французскаго графскаго рода.

Рис. 196



Компасъ Гильберта.

Моряки называютъ этотъ компасный кружокъ картушкой или розой вѣтровъ. Она состоитъ изъ восьмиконечной звѣзды, концы которой указываютъ сѣверъ, сѣверовостокъ, востокъ, юговостокъ, югъ, югозападъ, западъ и сѣверозападъ. На кругѣ, описанномъ вокругъ восьмиконечной звѣзды, указаны направленія между сѣверомъ и сѣверовостокомъ, сѣверовостокомъ и востокомъ и т. д. Эти направленія называютъ сѣверосѣверовостокомъ, востокосѣверовостокомъ, востокоюговостокомъ, югоюговостокомъ и т. д. За кругомъ, раздѣленнымъ на 16 частей, слѣдуетъ кругъ, который дѣлятъ на 32 части (румбы). Неизвѣстно, кто ввелъ это дѣленіе, но извѣстно, что оно было въ употребленіи въ Голландіи съ конца XV вѣка. Теперь оно принято вездѣ.

Компасъ Гильберта, кромѣ того, былъ снабженъ визиромъ, который при помощи двухъ шиповъ насаживался на кругъ, охватывавшій картушку, но не связанный съ нею. На этомъ кругѣ были сдѣланы обыкновенныя круговыя дѣленія (раздѣленный компасъ), счетъ которыхъ начинался отъ отверстій *A* и *B* для шиповъ.

Какъ и стрѣлка рисунка 155, магнитная стрѣлка компаса виситъ на остреѣ и можетъ свободно вращаться въ горизонтальной плоскости. Она устанавливается въ магнитномъ меридіанѣ и лилія картушки указываетъ сѣверъ. Направивъ затѣмъ визиръ на какой-нибудь другой предметъ, можно отсчитать на картушкѣ, на какой уголъ отъ направленія сѣвера-юга отклонена линія визированія.

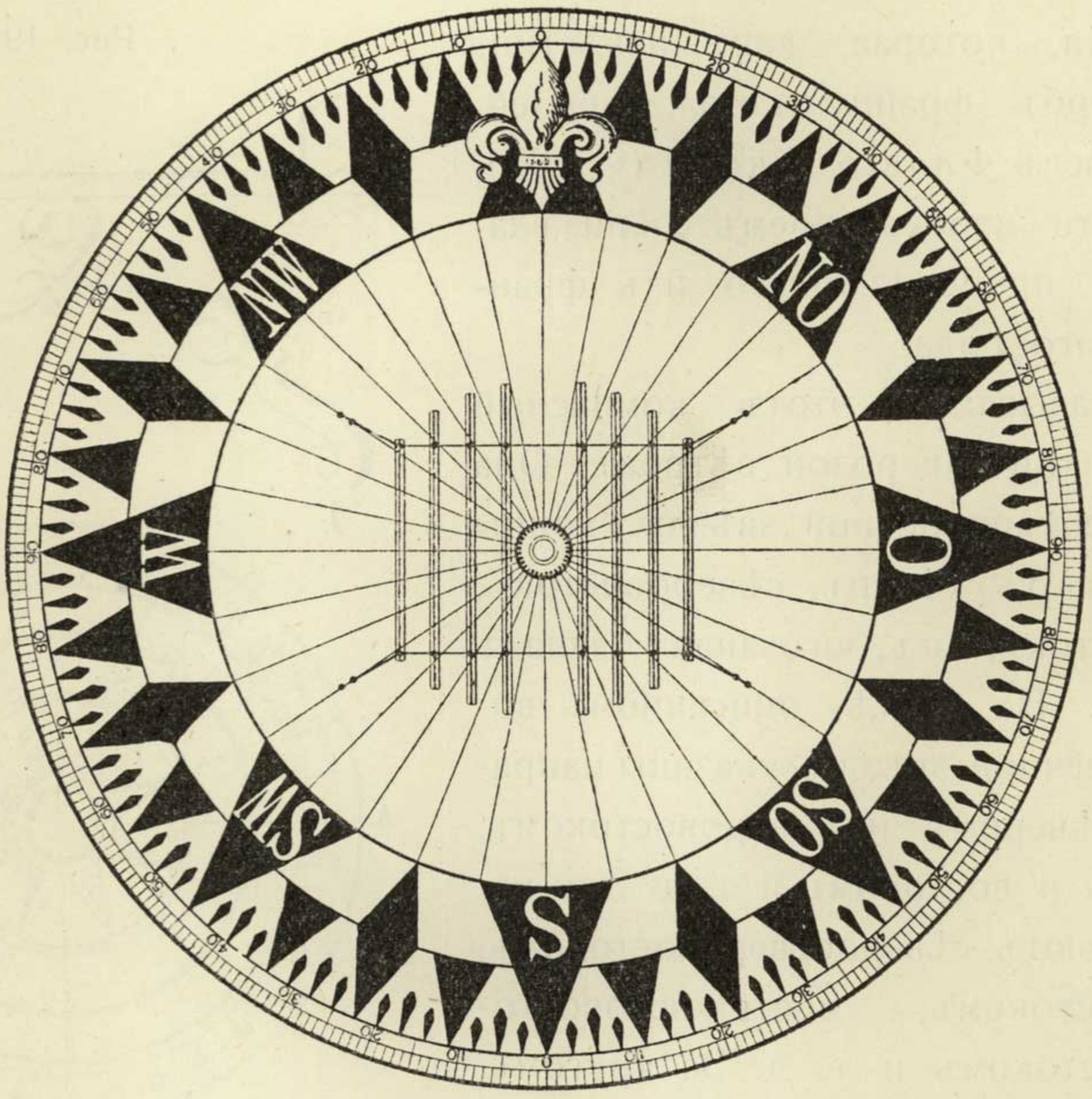
На рис. 197 изображена картушка въ томъ видѣ, въ какомъ ее дѣлаютъ теперь согласно указаніямъ знаменитаго англійскаго физика лорда Кельвина (Вильяма Томсона). Восемь тонкихъ, но сильныхъ магнитныхъ стрѣлокъ лежатъ на тонкихъ шелковыхъ нитяхъ, соединяющихъ края картушки съ ея срединой, которою она помѣщается на поддерживающее ее острее. Рис. 198 показываетъ способъ подвѣшиванія картушки. *AB*—картушка, *CD*—магниты, поддерживаемые тонкими нитями.

http://mathesis.ru

Закрытое пространство *E* содержитъ вязкую жидкость, а *F* представляетъ тяжелый грузъ. Все приспособленіе при помощи шиповъ *G* и *H* подвѣшивается на Кардановомъ подвѣсѣ (ср. I, § 129).

250. Для того чтобы пользоваться компасомъ, необходимо, разумѣется, знать склоненіе для даннаго мѣста, т. е. у мореплавателя должны быть вѣрныя карты

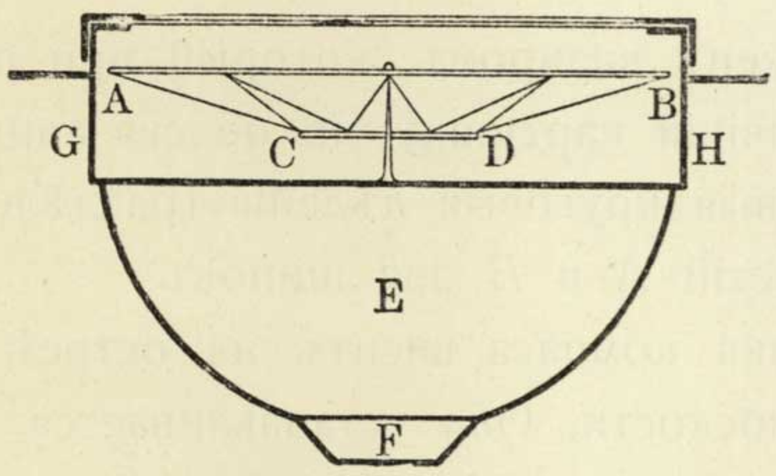
Рис. 197



Компасъ лорда Кельвина (В. Томсона).

склоненій. Но въ то же время онъ долженъ знать и то вліяніе, которое оказываютъ на компасную стрѣлку желѣзныя части корабля. Даже на деревянномъ суднѣ стрѣлка компаса можетъ уклоняться отъ магнитнаго меридіана. На желѣзныхъ судахъ вліяніе желѣза на магнитную стрѣлку, конечно, гораздо больше, чѣмъ на деревянномъ суднѣ, на которомъ бываетъ замѣтно вліяніе главнымъ образомъ желѣзныхъ цѣпей и якорей.

Рис. 198



Подвѣсъ картушки компаса.

Магнитныя силы, вызываемыя желѣзомъ судна, частью обусловливаются тѣмъ, что судно представляетъ постоянный магнитъ съ опредѣленными полюсами, частью тѣмъ, что желѣзныя части судна намагничиваются земнымъ магнитизмомъ. Но полюсы, которые обусловливаются этими вліяніями, мѣняютъ свое положеніе въ зависимости отъ направленія корабля въ данный моментъ. Наконецъ, желѣзо судна дѣйствуетъ на стрѣлку компаса, какъ и всякое другое желѣзо.

Свой постоянный магнитизмъ судно пріобрѣтаетъ обыкновенно во время постройки. Въ это время отдѣльныя части судового корпуса довольно долго остаются въ одномъ и томъ же положеніи, а постоянныя встряхиванія при склепываніи отдѣль-

http://mathesis.ru

ныхъ частей усиливаютъ вліяніе земного магнитизма (ср. § 219). Мѣстонахожденіе полюсовъ, отвѣчающихъ постоянному магнитизму судна, конечно, зависитъ отъ того направленія, которое судно имѣло во время постройки. Сѣверный магнитный полюсъ образуется въ частяхъ, направленныхъ къ сѣверу, а южный магнитный полюсъ въ частяхъ, направленныхъ къ югу.

Когда компасъ помѣщаютъ на желѣзное судно, его стрѣлка даетъ вѣрныя показанія только при одномъ положеніи судна. Поэтому нужно стремиться уничтожить дѣйствіе судна на компасную стрѣлку; для этого вблизи ея помѣщаютъ магнитъ. Рѣдко удается достигнуть этого въ полной мѣрѣ и приходится постоянно провѣрять, не произошло ли измѣненій въ магнитизмѣ судна или въ предохранительныхъ магнитахъ.

Если компасъ на суднѣ даетъ вѣрныя показанія при опредѣленномъ направленіи судна, то при поворотѣ судна онъ не можетъ оставаться вѣрнымъ даже въ томъ случаѣ, когда дѣйствіе постояннаго магнитизма судна устранено: мягкое желѣзо судна различно намагничивается земнымъ магнитизмомъ при разныхъ положеніяхъ судна. Поэтому судовой компасъ долженъ быть снабженъ таблицей поправокъ къ показаніямъ стрѣлки соотвѣтственно тому направленію, которое имѣетъ судно. Чтобы получить такую таблицу судно заставляютъ дѣлать на рейдѣ полный поворотъ, въ то же время опредѣляя склоненіе стрѣлки для любого направленія.

http://mathesis.ru

http://mathesis.ru

Электричество

Открытія и свѣдѣнія до 1790 года

http://mathesis.ru

http://mathesis.ru

Эпоха до Гильберта

251. Въ древности янтарь игралъ очень важную роль у обитателей береговъ Балтійскаго и Сѣвернаго морей, такъ какъ онъ шелъ въ обмѣнъ за металлы, доставлявшіеся народами береговъ Средиземнаго моря.

Неизвѣстно, получили ли греки янтарь впервые отъ финикійскихъ мореплавателей или же онъ дошелъ къ нимъ по сухому пути. Во всякомъ случаѣ, мѣновая торговля вдоль по Одеру и Вислѣ до Дуная и даже до По доставляла въ Грецію большое количество янтаря. Ѳалесъ Милетскій, вѣроятно, зналъ, что отъ тренія янтарь пріобрѣтаетъ свойство притягивать легкія тѣла, напримѣръ, солому. Быть можетъ, это наблюденіе, которое приписываютъ Ѳалесу, было сдѣлано совершенно случайно. Такъ какъ янтарь идетъ на украшенія, то, быть можетъ, при его обработкѣ или же во время натиранія готовыхъ издѣлій (бусъ), съ цѣлью придать имъ блескъ или подновить ихъ, и было замѣчено, что такія бусы, будучи натерты, притягиваютъ волосы, перья и пр.

Въ своемъ „Космосѣ“ Гумбольдтъ разсказываетъ, что дикари замѣтили и въ другихъ предметахъ то же явленіе, что́ и въ янтарѣ: „Не безъ изумленія замѣтилъ я на лѣсистыхъ берегахъ Ориноко во время игръ дѣтей дикарей, стоящихъ на самой низкой ступени, что имъ извѣстно полученіе электричества при помощи тренія. Мальчики терли сухія, плоскія и блестящія сѣмена одного ползучаго стручковаго растенія, пока тѣ не начинали притягивать волокна хлопчатой бумаги и бамбука“.

Въ другихъ тѣлахъ греки, повидимому, не замѣтили свойства электризоваться треніемъ, за однимъ исключеніемъ, быть можетъ. Именно, Теофрастъ (371 до Р. Х.), крупнѣйшій геологъ и ботаникъ древности, называетъ кромѣ янтаря еще одинъ камень, линкуріонъ, который послѣ натиранія пріобрѣтаетъ свойство притягивать. Какой именно камень онъ имѣлъ въ виду, неизвѣстно; вѣроятно, это былъ какой-нибудь драгоцѣнный камень, между которыми есть нѣсколько обладающихъ этой способностью. Аристотелю также извѣстно притягательное дѣйствіе янтаря, но онъ замѣчаетъ, что оно значительно слабѣе притяженія магнита.

Какъ Ѳалесъ, такъ и Аристотель думали, впрочемъ, что притягательная сила янтаря обусловлена тѣмъ, что онъ есть одушевленный предметъ. Позднѣе былъ общепринятъ взглядъ, что эта удивительная притягательная сила вызывается теплотой, образующейся при треніи.

Такъ же мало, какъ и греки, освѣтили эти явленія арабы. Впрочемъ, послѣдніе называютъ еще одно вещество кромѣ янтаря, гагатъ (твердый блестящій каменный уголь), обладающій свойствомъ послѣ натиранія притягивать легкія частицы соломы.

Не пошли дальше и изслѣдователи среднихъ вѣковъ. Правда, они часто говорятъ о притяженіи янтаря, составляющемъ предметъ удивленія, но это не давало

http://mathesis.ru

толчка къ дальнѣйшимъ изслѣдованіямъ.—Нужно почти удивляться тому, что алхимики при своихъ разнообразныхъ работахъ надъ извѣстными тогда веществами не сдѣлали случайно открытія, что янтарь не единственное тѣло, которое отъ натиранія пріобрѣтаетъ притягательную силу.

252. Только съ того времени, когда въ эпоху Возрожденія ученые снова обратились къ изученію древнихъ авторовъ, переданныя послѣдними отдѣльныя наблюденія дали плодотворныя указанія. Даже Аристотель пріобрѣлъ совершенно новое значеніе для естествознанія, когда начали изучать самые его труды, вмѣсто того, чтобы схоластически заниматься только комментаріями къ нему. Испанецъ Лудовико Вивесъ (1492—1540), другъ Эразма Роттердамскаго, подчеркиваетъ, что, обращаясь со своими вопросами только къ Аристотелю, а не къ самой природѣ, ученые дѣйствуютъ совершенно не въ духѣ Аристотеля, ибо дѣйствительнаго знанія природы достигаютъ не при помощи остроумныхъ гипотезъ и передачи росказней.

Но переходъ къ свободному изслѣдованію происходилъ медленно. Однако, въ концѣ концовъ ученые дошли до того, что стали строить дальше, исходя изъ свѣдѣній, накопленныхъ древними. И наблюденіе, что янтарь пріобрѣтаетъ при натираніи особую силу, образовало исходный пунктъ новыхъ изслѣдованій.

253. Вильямъ Гильбертъ, съ которымъ мы уже познакомились въ другой области физики, какъ съ изслѣдователемъ, прокладывавшимъ новые пути (§ 204), задалъ себѣ вопросъ, нѣтъ ли какихъ-нибудь тѣлъ, помимо янтаря и гагата, которыя при натираніи пріобрѣтали бы такое же свойство, какъ и они. И надо поставить въ большую заслугу Гильберту, что на этотъ вопросъ, который, конечно, задавался раньше и другими, онъ отвѣтилъ опытами. При этихъ опытахъ выяснилось, что есть много другихъ веществъ, обладающихъ въ этомъ отношеніи свойствами янтаря. Между прочимъ Гильбертъ называетъ алмазъ, сапфиръ, аметистъ, горный хрусталь, сѣру и смолу. Всѣ эти вещества, будучи натерты, пріобрѣтаютъ способность притягивать. Съ другой стороны онъ нашелъ, что многія тѣла при натираніи не пріобрѣтаютъ такой способности. Къ нимъ принадлежатъ, напримѣръ, смарагдъ, агатъ, жемчугъ, мраморъ, кости и всѣ металлы.

254. Гильбертъ далъ этой удивительной притягательной силѣ имя,—онъ назвалъ ее электрической силой, такъ какъ впервые она была замѣчена у янтаря, который по гречески называется „электронъ“. Отъ слова „электрическая сила“ впослѣдствіи было образовано слово „электричество“. Самъ Гильбертъ не употреблялъ этого слова, но онъ называлъ тѣла электрическими и неэлектрическими соотвѣтственно тому, сообщаетъ ли имъ натираніе притягательную силу или нѣтъ.

Гильбертъ былъ искусный экспериментаторъ и внимательный наблюдатель. При своихъ опытахъ онъ очень скоро замѣтилъ, что всѣ тѣла безразлично, принадлежатъ ли они къ группѣ „электрическихъ“ или къ группѣ „неэлектрическихъ“, притягиваются наэлектризованнымъ тѣломъ, т. е. такимъ тѣломъ, которому натираніемъ сообщена способность притяженія. Онъ показалъ это слѣдующимъ образомъ. Палочки изъ различныхъ веществъ насаживались на острея, подобно стрѣлкѣ компаса, такъ что онѣ могли свободно вращаться безъ замѣтнаго тренія. Когда къ такой палочкѣ приближали наэлектризованное тѣло, палочка притягивалась, независимо отъ того, изъ какого вещества она была сдѣлана. Затѣмъ Гильбертъ показалъ, что жидкости

http://mathesis.ru

также притягиваются наэлектризованнымъ тѣломъ, а воздухъ, пламя и раскаленныя тѣла не притягиваются.

Однако, для того чтобы электрическіе опыты удавались, необходимо выполненіе извѣстныхъ условій. Гильбертъ замѣтилъ, что электризація удается гораздо лучше въ ясные и сухіе солнечные дни, какіе бываютъ въ Лондонѣ при сѣверномъ и восточномъ вѣтрѣ, чѣмъ во влажномъ воздухѣ, когда дуетъ южный или западный вѣтеръ. Если наэлектризованное тѣло окружено влажнымъ воздухомъ, напримѣръ, выдыхаемымъ воздухомъ, или же если оно сбрызнуто водою или спиртомъ, то электричество этого тѣла весьма значительно ослабляется и даже совершенно исчезаетъ. Напротивъ того, обрызгиваніе масломъ не оказываетъ дурного дѣйствія.

255. Гильбертъ производилъ опыты и съ магнитизмомъ и съ электричествомъ, но въ противоположность прежнимъ изслѣдователямъ онъ ясно различалъ электрическую и магнитную силы. Онъ пишетъ: 1. Электрическая сила возникаетъ благодаря тренію, напротивъ того, магнитная сила существуетъ въ магнитахъ всегда и сама по себѣ. 2. Электричество исчезаетъ въ влажномъ воздухѣ, тогда какъ магнитъ сохраняетъ свою силу, какихъ бы предметовъ онъ ни касался. 3. Электричество притягиваетъ всѣ тѣла, магнитъ только очень немногія.—На основаніи этихъ и нѣкоторыхъ другихъ различій Гильбертъ дѣлаетъ выводъ, что электрическая и магнитная силы отличаются другъ отъ друга по существу. Соглашаясь съ прежними теоріями, онъ допускалъ, что электрическая сила обусловлена тѣмъ, что при натираніи изъ тѣла „нѣчто“ истекаетъ.

256. Наблюденія Гильберта, который опубликовалъ свои результаты въ книгѣ „De Magnete“, побудили многихъ другихъ физиковъ повторить эти опыты и сдѣлать новые. Къ двумъ группамъ электрическихъ и неэлектрическихъ тѣлъ постоянно прибавлялись новые члены и дѣлались другія интересныя наблюденія. Напримѣръ, Accademia del Cimento открыла, что наэлектризованное тѣло теряетъ свое электричество, если помѣстить его въ сосѣдствѣ пламени.

Но первый крупный шагъ, который сдѣлало ученіе объ электричествѣ послѣ смерти Гильберта, связанъ съ именемъ знаменитаго Магдебургскаго бургомистра Отто фонъ-Герике. При своей любви къ эффектнымъ опытамъ онъ былъ самымъ подходящимъ человѣкомъ для продолженія этого дѣла. Прежде всего нужно было получить дѣйствія электричества болѣе отчетливо. Гильбертъ и его ближайшіе преемники довольствовались тѣмъ, что натирали маленькія электрическія тѣла и наблюдали ихъ притяженіе. Герике, наоборотъ, построилъ машину, которая производила электричество. Онъ приготовилъ шаръ изъ сѣры, наполнивъ расплавленной сѣрой полый стеклянный шаръ, который потомъ, когда сѣра застыла, онъ разбилъ. Затѣмъ онъ снабдилъ этотъ шаръ желѣзной осью и помѣстилъ на особомъ станкѣ такъ, что его можно было вращать вокругъ оси (рис. 199).

Такимъ образомъ шаръ изъ сѣры представлялъ то тѣло, которое наэлектризовывалось треніемъ. Герике производилъ треніе тѣмъ, что нажималъ рукою на шаръ, приводившійся во вращательное движеніе.

Съ этой первой электрической машиной Герике сдѣлалъ нѣсколько важныхъ открытій. Шаръ изъ сѣры электризовался гораздо сильнѣе, чѣмъ кусокъ янтаря, съ которымъ экспериментировалъ Гильбертъ. Между прочимъ Герике замѣтилъ, что пушинка сначала притягивалась наэлектризованнымъ шаромъ, но затѣмъ, прикоснув-

http://mathesis.ru

шись къ шару, отталкивалась послѣднимъ. Онъ могъ даже удерживать пушинку въ воздухѣ, вынимая шаръ изъ станка и держа его подъ пушинкой (рис. 199). Такимъ образомъ онъ открылъ, что существуетъ не только электрическое притяженіе, но и электрическое отталкиваніе. Къ своему удивленію Герике замѣтилъ дальше, что пушинка, коснувшаяся наэлектризованнаго шара изъ сѣры, притягивалась его тѣломъ, напримѣръ, его носомъ. Но какъ только она касалась его тѣла, она снова притягивалась шаромъ изъ сѣры.

Затѣмъ Герике наблюдалъ, что электрическая сила можетъ распространяться по льняной ниткѣ. Онъ прикрѣпилъ такую нитку, длиною въ 1 локоть, къ деревянной палочкѣ и приблизилъ къ верхнему концу нитки натертый шаръ изъ сѣры. Теперь нитка могла притягивать легкіе предметы своимъ нижнимъ концомъ, какъ будто ее наэлектризовали.

Но самое удивительное явленіе онъ наблюдалъ, электризуя шаръ въ темной комнатѣ. Именно, при этомъ на рукѣ, которая натирала шаръ, былъ видѣнъ отчет-

Рис. 199



Электрическая машина Отто фонъ-Герике.

ливый, хотя слабый и неспокойный свѣтъ, и этотъ свѣтъ сопровождался особымъ шумомъ — потрескиваніемъ. Этотъ „электрическій свѣтъ“ показался ему чрезвычайно удивительнымъ. При электризаціи сѣрнаго шара былъ всегда слышенъ шумъ: приблизивъ ухо, Герике всегда слышалъ легкій трескъ.

Герике сдѣлалъ еще другой интересный опытъ. Онъ водилъ наэлектризованный шаръ вокругъ пушинки, подвѣшенной на ниткѣ. Пушинка поворачивалась за шаромъ, оставаясь обращенной къ нему всегда одной и той же стороной. Такимъ образомъ пушинка вращалась и Герике сейчасъ же пришло на мысль, что вращательныя движенія земли и небесныхъ тѣлъ вызываются электрическими силами (ср. § 208).

257. Какъ ни были интересны эти открытія Герике, сначала они привлекли мало вниманія. Прошло много времени раньше, чѣмъ стали точнѣе изслѣдовать электрическія отталкиванія, проводимость электрической силы и электрическія свѣтовыя явленія.

http://mathesis.ru

Чтеніе книги Герике „Nova Experimenta“, появившейся въ 1672 году, побудило Роберта Бойля (I, § 255) заняться не только опытами съ воздушнымъ насосомъ, но и электрическими изслѣдованіями. Бойль замѣтилъ, что не только наэлектризованное тѣло можетъ притягивать ненаэлектризованное, но и наоборотъ — ненаэлектризованное тѣло можетъ притягивать наэлектризованное. Такимъ образомъ, это дѣйствіе взаимное, какъ и дѣйствіе между магнитнымъ полюсомъ и кускомъ желѣза. Бойль показалъ затѣмъ, что электрическая сила дѣйствуетъ и въ безвоздушномъ пространствѣ и что для сильной электризаціи треніемъ тѣло должно быть чистымъ, теплымъ и гладкимъ.

Весьма характеренъ для тогдашнихъ свѣдѣній объ электричествѣ тотъ фактъ, что Ньютонъ показывалъ въ Royal Society приборъ, служащій теперь игрушкой, какъ въ высшей степени интересный электрическій аппаратъ. На деревянномъ дискѣ лежитъ кольцо, а на кольцѣ стеклянная пластинка. Въ промежуткѣ между деревяннымъ кружкомъ и стеклянной пластинкой находятся обрѣзки бумаги. Если электризовать стеклянную пластинку треніемъ, то обрѣзки бумаги притягиваются ею, а затѣмъ отталкиваются. Прикоснувшись дерева, они снова притягиваются стеклянной пластинкой, затѣмъ снова отталкиваются и т. д. Здѣсь мы имѣемъ то же самое явленіе, которое Герике вызывалъ инымъ способомъ, а именно при помощи сѣрнаго шара и пушинки. Но ни Герике, ни Ньютонъ не даютъ объясненія тому, отчего происходитъ это явленіе.

258. Съ явленіями электрическаго свѣта, разумѣется, встрѣчались всѣ, кто только занимался электрическими опытами. Тщательно обставляя опыты, старались получить возможно сильныя дѣйствія. Въ 1700 году одному англичанину Воллу удалось такъ сильно наэлектризовать кусокъ янтаря, что отъ этого куска къ его пальцу проскочила электрическая искра. Эта искра сопровождалась сильнымъ шумомъ, напоминавшимъ тотъ шумъ, который слышится, когда каменный уголь трещитъ на огнѣ. Что въ своихъ опытахъ Воллъ получалъ очень сильныя дѣйствія, можно заключить изъ того, что онъ сравнивалъ электрическую искру и связанный съ нею шумъ съ молніей и громомъ.

Въ 1709 году были опубликованы важныя изслѣдованія Фрэнсиса Гауксби, хранителя физическихъ приборовъ Royal Society. Удивительно, что до насъ не дошло никакихъ свѣдѣній о жизни этого человѣка, хотя онъ былъ членомъ названнаго общества и опубликовалъ 43 статьи, касающіяся различныхъ областей физики.

Въ его книгѣ, которая появилась въ 1709 году, описано много опытовъ, въ томъ числѣ „различныя поразительныя явленія относительно свѣта и электричества“. На гравюрахъ на мѣди представлены и „машины“, служившія для производства этихъ опытовъ.

Прежде всего описывается весьма „современная“ для того времени машина — воздушный насосъ вмѣстѣ съ нѣкоторыми изъ важнѣйшихъ его приложеній.

Затѣмъ идетъ изслѣдованіе явленія, упомянутаго Пикаромъ (I, § 271), что Торричелліева пустота дѣлается свѣтящеюся, когда встряхиваютъ барометръ. Это замѣченное Пикаромъ явленіе возбудило большое удивленіе. Его старались объяснить различнымъ образомъ. Дѣлая точное наблюденіе, Гауксби замѣтилъ, что это свѣтовое явленіе тѣмъ сильнѣе, чѣмъ больше треніе между стекломъ и ртутью. Это навело его на предположеніе, что данное явленіе есть электрическое и что оно вызывается именно треніемъ. Правильность своей догадки онъ доказалъ слѣдующимъ опытомъ.

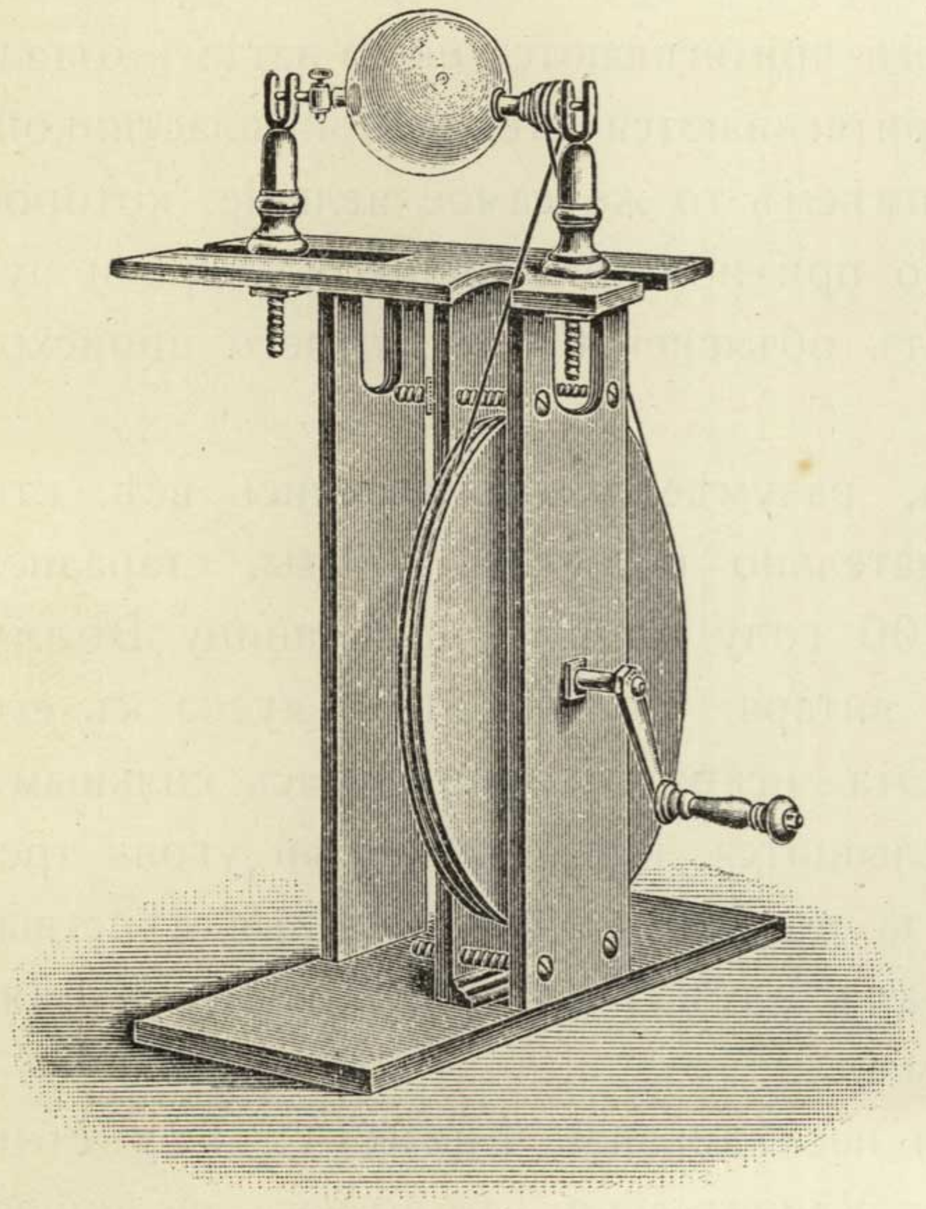
http://mathesis.ru

Онъ помѣстилъ полый стеклянный шаръ на токарномъ станкѣ такъ, что его можно было приводить въ быстрое вращеніе (рис. 200). Прикладывая руку къ вращающемуся шару, Гауксби наэлектризовывалъ послѣдній. Послѣ удаленія затѣмъ воздуха изъ шара, послѣдній наполнялся свѣтомъ, похожимъ на тотъ, который замѣчался въ Торричелліевой пустотѣ при встряхиваніи барометра.

Мы не будемъ здѣсь входить въ дальнѣйшія изслѣдованія Гауксби объ электрическомъ свѣтѣ въ пространствѣ съ разрѣженнымъ воздухомъ. Ниже мы будемъ имѣть еще случай говорить о дальнѣйшемъ развитіи этого вопроса.

Съ Гауксби заканчивается первый періодъ ученія объ электричествѣ — періодъ Гильберта-Герике. Гильбертъ основалъ этотъ отдѣлъ физики, а Герике выяснилъ такіе важные факты, что для дальнѣйшихъ изслѣдованій было заложено хорошее основаніе. Однако, вначалѣ ученіе объ электричествѣ развивалось медленно. Было чрезвычайно трудно сохранять электрическое состояніе, такъ что для удачи опытовъ требовалось большое искусство экспериментированія. Даже при соблюденіи предосторожностей, указанныхъ Гильбертомъ, эти дѣйствія были слабы. Только свѣтовыя электрическія явленія наблюдались легко.

Рис. 200



Свѣтящійся шаръ Гауксби.

259. Слѣдующій періодъ исторіи ученія объ электричествѣ начинается открытіемъ Стефана Грэя, современника Гауксби. О жизни этого ученаго также извѣстно очень мало. Сначала онъ былъ оптикомъ; извѣстно еще, что это былъ прилежный и осторожный наблюдатель. Изъ одного случайнаго замѣчанія его друга, священника Вилера, который былъ членомъ Royal Society, какъ и Грэй, можно было заключить, что Грэй родился въ 1670, а умеръ въ 1736 году.

Грэй началъ въ 1729 году свои электрическія изслѣдованія обычными опытами съ натираніемъ. Для ихъ производства онъ пользовался стеклянной трубкой въ $2^1/_2$ фута длиной и въ 2 дюйма шириной. Какъ и Герике, онъ сейчасъ же замѣтилъ притяженіе, производимое натертой трубкой на пушинку. Для защиты отъ пыли Грэй закрылъ отверстія этой стеклянной трубки пробками; при этомъ онъ замѣтилъ, что эти пробки при натираніи стекла становятся электрическими, т. е. что онѣ притягиваютъ перо. Но по Гильберту пробка принадлежала къ „неэлектрическимъ“ тѣламъ. Это побудило Грэя къ дальнѣйшимъ наблюденіямъ надъ проводимостью электрической силы. Онъ воткнулъ въ пробку деревянную палочку и на другомъ концѣ палочки укрѣпилъ шарикъ слоновой кости. При натираніи стеклянной трубки электричество распространялась отъ пробки по деревянной палочкѣ до шарика слоновой кости. То же получалось и тогда, когда деревянная палочка замѣнялась метал-

http://mathesis.ru

лической проволокой. Этимъ способомъ Грэй проводилъ электричество по металлической проволокѣ длиною въ 26 футовъ, которая свѣшивалась съ балкона.

Для того чтобы отвести электричество еще дальше, Грэй взялъ пеньковую бечевку, которую подвѣсилъ на ниткѣ, укрѣпленной на гвоздѣ. Одинъ конецъ бечевки онъ соединилъ съ пробкой, а другой съ шарикомъ слоновой кости. Теперь электричество не достигало шарика, а уходило по ниткѣ къ гвоздю и исчезало. Значитъ, проволоку, по которой должно было идти электричество, нельзя было подвѣшивать такимъ способомъ.

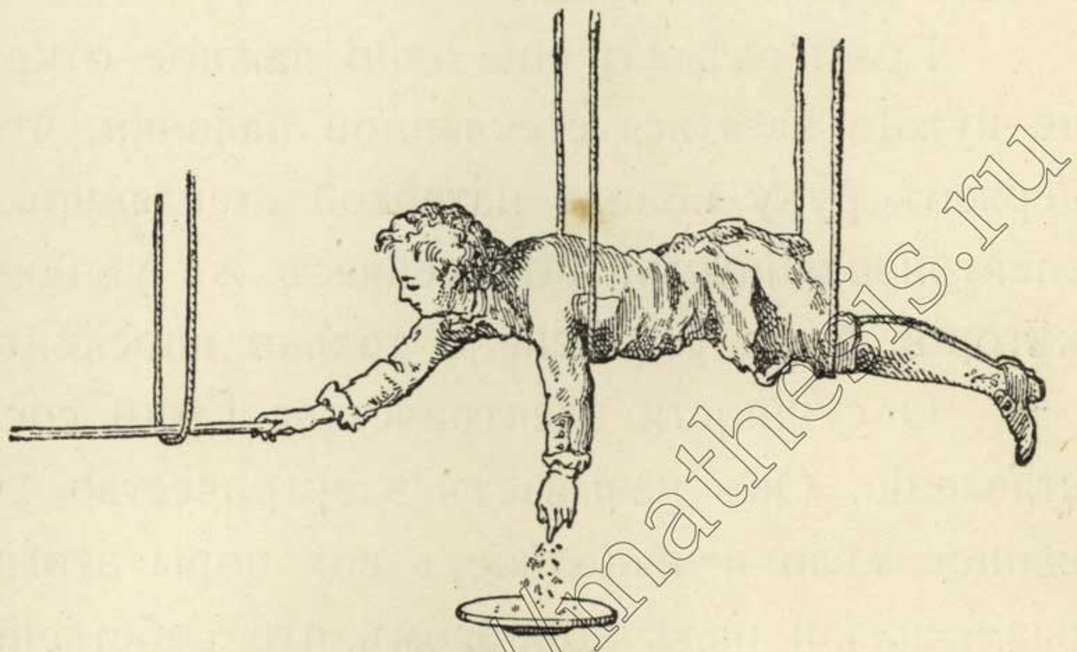
260. Вскорѣ послѣ того Грэю случилось навѣстить своего друга Вилера и ему захотѣлось познакомить Вилера со своими опытами. Вилеръ предложилъ подвѣсить пеньковую бечевку на шелковыхъ нитяхъ, полагая, что по такимъ тонкимъ нитямъ электричество не сможетъ уйти. Теперь опытъ удался въ совершенствѣ, даже съ бечевкой длиною въ 765 футовъ, которую пришлось подвѣсить на большомъ числѣ шелковинокъ. Электричество распространялось теперь вплоть до шарика слоновой кости, привязаннаго къ концу пеньковой бечевки. При одномъ изъ этихъ опытовъ одна шелковинка разорвалась и была замѣнена металлической проволокой. Теперь электричество снова не доходило до конца пеньковой бечевки, а уходило по металлической проволокѣ.

Грэй и Вилеръ стали изслѣдовать эти явленія внимательнѣе и нашли, что пеньковая бечевка, шелковая нитка и металлическая проволока дѣйствуютъ здѣсь весьма различно. Пеньковая бечевка проводитъ электричество хорошо, металлическая проволока еще лучше, а шелковинка, напротивъ, совершенно не проводитъ его.

При дальнѣйшемъ изслѣдованіи Грэй нашелъ, что есть цѣлый рядъ тѣлъ, которыя, подобно пеньковой бечевкѣ и металлической проволокѣ, хорошо проводятъ электричество, но, съ другой стороны, есть также рядъ тѣлъ, которыя, подобно шелку, плохо проводятъ электричество или даже совсѣмъ не проводятъ его. Соотвѣтственно этому тѣла, такимъ образомъ, распадаются на хорошіе и дурные проводники электричества. При этомъ выяснилось, что „электрическія“ тѣла Гильберта были дурными проводниками, а его „неэлектрическія“ тѣла—хорошими.

Грэй различалъ тѣла, проводящія электричество, и тѣла, непроводящія электричества, но позднѣе Эпинусъ (§ 212) показалъ, что тѣлъ, совершенно непроводящихъ электричества, вообще не существуетъ. Поэтому мы будемъ пользоваться обозначеніями „хорошихъ“ и „дурныхъ“ проводниковъ.

Рис. 201



Опытъ Грэя.

Къ хорошимъ проводникамъ принадлежатъ металлы, уголь, растворы солей, живыя ткани растеній и животныхъ, ленъ и хлопчатая бумага.

Дурными проводниками являются янтарь, смола, сѣра, шеллакъ, каучукъ, эбонитъ, воскъ, стекло, фарфоръ, шерсть, шелкъ, перья, волоса (мѣхъ), драгоцѣнные камни, сухое дерево, сухой воздухъ.

http://matheus.ru

261. Грэй произвелъ одинъ поразительный опытъ, показавшій, что человѣческое тѣло является хорошимъ проводникомъ электричества. Рис. 201 даетъ старинное изображеніе этого опыта. На немъ представленъ мальчикъ, висящій на двухъ веревкахъ, сплетенныхъ изъ волоса. Одной рукой онъ касается натертой стеклянной палочки и электричество распространяется до другой руки, которая притягиваетъ бумажные обрѣзки.

Въ другомъ опытѣ мальчика ставили на кусокъ смолы, который не позволялъ электричеству уходить изъ тѣла, какъ не позволяли этого волосяныя веревки.

Послѣ того какъ выяснилось, что человѣческое тѣло—хорошій проводникъ электричества, стало также ясно, почему дѣленіе тѣлъ на „электрическія“ и „неэлектрическія“, предложенное Гильбертомъ, совпадало съ дѣленіемъ на „хорошіе“ и „дурные“ проводники Грэя.

„Электрическими“ тѣлами по Гильберту являются тѣ тѣла, которыя при натираніи пріобрѣтаютъ способность притяженія. По Грэю „электрическія“ тѣла—дурные проводники, т. е. по нимъ электричество не распространяется (или почти не распространяется). Если въ дурномъ проводникѣ получить электричество треніемъ, то оно удерживается въ тѣлѣ и лишь съ трудомъ уходитъ изъ него, а потому тѣло наэлектризовывается.

Напротивъ, когда электричество получается треніемъ въ хорошемъ проводникѣ, то его вовсе нельзя замѣтить, если не принять особыхъ предосторожностей, такъ какъ изъ хорошаго проводника оно мгновенно уходитъ въ тѣ тѣла, съ которыми сообщается этотъ проводникъ.

Впослѣдствіи было доказано, что треніемъ могутъ быть наэлектризованы всѣ тѣла. Но если этимъ способомъ желаютъ наэлектризовать какой-нибудь хорошій проводникъ, напримѣръ, металлическую пластинку, то нужно прикрѣпить ее на дурномъ проводникѣ такъ, чтобы получающееся на металлической пластинкѣ электричество не могло уходить съ нея. Если же держать такую пластинку въ рукѣ, то получаемое треніемъ электричество будетъ мгновенно уходить въ землю черезъ тѣло.

262. Грэй значительно подвинулъ впередъ ученіе объ электричествѣ. Именно, онъ выяснилъ условія, при которыхъ электричество можно сохранять болѣе продолжительное время, а это дало возможность точнѣе изучить его дѣйствія. При помощи шелковыхъ нитей и кусковъ смолы Грэю удалось сохранить электричество въ одномъ тѣлѣ цѣлыхъ 30 дней.

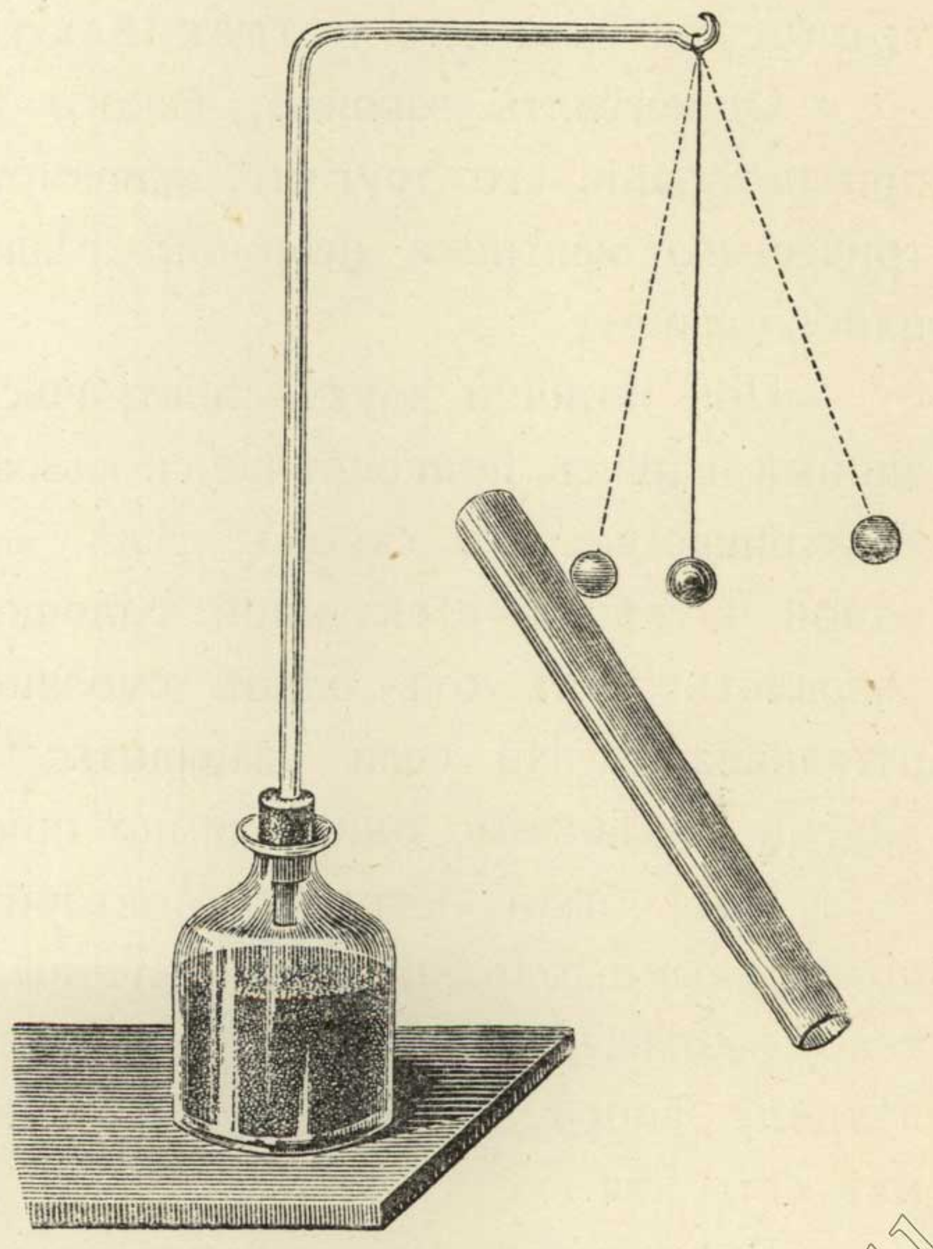
Грэй сдѣлалъ еще одно важное открытіе. Онъ нашелъ, что мальчику (рис. 201) не нужно касаться стеклянной палочки, чтобы наэлектризоваться. Ему стоило только держать руку вблизи натертой стеклянной палочки—и все его тѣло становилось наэлектризованнымъ. Мы сейчасъ же увидимъ, какъ велико значеніе этого открытія, которое было разъяснено только впослѣдствіи.

О сущности электричества Грэй составилъ себѣ весьма неопредѣленное представленіе. Онъ называетъ электричество „чѣмъ-то, что проникаетъ все наэлектризованное тѣло и наполняетъ всѣ поры этого тѣла“. И въ то время и позднѣе много размышляли надъ вопросомъ, что̀ собственно представляетъ собою электричество. Мы не будемъ входить въ подробности этихъ умозрѣній, а будемъ идти тѣмъ, указаннымъ исторіей, путемъ, на которомъ можно было чего-нибудь достигнуть. Этотъ путь состоялъ въ накопленіи новыхъ опытныхъ данныхъ объ электричествѣ.

http://mathesis.ru

263. Работы Грэя печатались въ изданіяхъ Royal Society, которыя въ то время читались во всѣхъ ученыхъ обществахъ Европы. Этимъ путемъ свѣдѣнія объ опытахъ Грэя расходились въ самыхъ широкихъ кругахъ и вызывали дальнѣйшія изслѣдованія. Но лишь немногимъ удавалось получить новые результаты. Къ этимъ немногимъ принадлежалъ Шарль Франсуа Десистернэ Дюфэ (1698—1739). Прослуживъ короткое время въ арміи въ качествѣ младшаго офицера, онъ оставилъ военную карьеру и посвятилъ себя изученію естествознанія, а именно химіи. Уже въ 1723 году онъ сталъ членомъ Академіи, а съ 1732 года сталъ завѣдывающимъ ея ботаническимъ садомъ. При своихъ изслѣдованіяхъ по электричеству онъ обратилъ особое вниманіе на электрическую искру, о которой Грэй говоритъ мало. Дюфэ электризовалъ мальчика на кускѣ смолы и къ большому изумленію аббата Нолле (§ 267) извлекалъ изъ мальчика электрическія искры. Гладя рукой лежавшую на шелковой подушкѣ кошку, онъ наэлектризовывалъ ее до такой степени, что отъ нея получались искры. Еще бо́льшее значеніе, чѣмъ эти опыты съ электрической искрой, имѣли два другихъ открытія Дюфэ. Одно изъ этихъ явленій наблюдалъ уже Герике, а именно, что электрическое тѣло сначала притягиваетъ неэлектрическое, но затѣмъ, послѣ соприкосновенія, отталкиваетъ его. Если подвѣшенный на шелковинкѣ шарикъ изъ бузинной сердцевины (рис. 202) приблизить къ натертой стеклянной палочкѣ, то шарикъ сначала притянется къ ней, но затѣмъ, коснувшись ея, оттолкнется. Герике наблюдалъ это явленіе, но не объяснилъ его. Дюфэ даетъ слѣдующее объясненіе: Всѣ электрическія тѣла притягиваютъ всѣ неэлектрическія, но когда неэлектрическое тѣло касается электрическаго, оно само дѣлается электрическимъ и потому отталкивается отъ перваго. Съ помощью этого положенія Дюфэ могъ, какъ ему казалось, объяснить много удивительныхъ наблюденій, сдѣланныхъ другими изслѣдователями. Это положеніе получило важное расширеніе благодаря другому открытію самого Дюфэ.

Рис. 202



Электрическій маятникъ.

Однажды Дюфэ повторялъ опытъ Герике и старался удержать въ воздухѣ легкое тѣло (онъ пользовался листикомъ золота), отталкивая его наэлектризованной стеклянной палочкой. Приблизивъ къ золотому листку кусокъ смолы, наэлектризованный треніемъ, онъ ожидалъ, что послѣдній также оттолкнетъ золотой листокъ, такъ какъ между всякими двумя наэлектризованными тѣлами возникаетъ отталкиваніе. Но вышло какъ разъ обратное тому, чего онъ ожидалъ,—смола весьма сильно притягивала золотой листокъ. Какъ можно было согласовать это съ другими наблюденіями? Продолжая свои изслѣдованія, Дюфэ нашелъ, что, хотя всѣ электрическія тѣла притягиваютъ всѣ неэлектрическія, но два электрическія тѣла отталкиваются далеко не всегда. Причиною

http://mathesis.ru

этого, говоритъ Дюфэ, является то, что „существуетъ два рода электричества —одинъ родъ я называю стеклянным электричествомъ, а другой смоляным. Первый родъ получается (треніемъ) въ стеклѣ, въ драгоцѣнныхъ камняхъ, въ волосахъ, въ шерсти и т. д., другой—въ янтарѣ, смолѣ, шелкѣ и т. д. Существенное различіе этихъ двухъ родовъ электричества состоитъ въ томъ, что каждый изъ нихъ отталкиваетъ электричество того же рода, но притягиваетъ электричество другого рода“.

264. Съ такъ называемымъ электрическимъ маятникомъ (рис. 202) нетрудно убѣдиться въ томъ, что существуетъ два рода электричества. Сначала натираютъ стеклянную палочку и приближаютъ ее къ шарику изъ бузинной сердцевины. Послѣдній притягивается, касается стеклянной палочки, получаетъ отъ нея электричество и затѣмъ отталкивается ею. Теперь шарикъ „заряженъ“ стекляннымъ электричествомъ. Если затѣмъ удалить стеклянную палочку и вмѣсто нея приблизить натертую смоляную палочку, то шарикъ быстро притянется къ ней. Но коснувшись смоляной палочки, онъ снова оттолкнется отъ нея, такъ какъ теперь вмѣсто стекляннаго электричества онъ имѣетъ смоляное. Если затѣмъ снова поднести къ нему стеклянную палочку, то она притянетъ шарикъ, заряженный смолянымъ электричествомъ. Одноименныя электричества взаимно отталкиваются, разноименныя—притягиваются.

Опредѣлить заранѣе, какого рода электричество получится на данномъ тѣлѣ при натираніи его другимъ, невозможно, но при помощи стеклянной палочки и электрическаго маятника нетрудно рѣшить, получило ли оно стеклянное электричество или смоляное.

При помощи двухъ электрическихъ маятниковъ легко также показать, что бузинный шарикъ, прикоснувшись къ натертой стеклянной палочкѣ, получаетъ стеклянное электричество. Въ самомъ дѣлѣ, если „зарядить“ шарики двухъ маятниковъ отъ одной и той же стеклянной палочки, то они отталкиваются другъ отъ друга. Если „зарядить“ ихъ отъ одной смоляной палочки, то между ними также происходитъ отталкиваніе. Но если „зарядить“ одинъ шарикъ стекляннымъ электричествомъ, а другой смолянымъ, они взаимно притягиваются.

Хотя было нетрудно повторить опыты Дюфэ, которые всѣми признавались правильными, однако, его допущеніе, что существуетъ два рода электричества, встрѣтило возраженія со стороны многихъ физиковъ. Ниже мы еще вернемся къ многолѣтнему спору о томъ, существуетъ ли одинъ только родъ электричества или же ихъ есть два.

Грэй имѣлъ удовольствіе познакомиться съ изслѣдованіями Дюфэ и призналъ, что они представляли большой шагъ впередъ. Своими статьями и лекціями Жанъ Дезагюлье (1683—1744) много способствовалъ тому, что результаты изслѣдованій этихъ и другихъ ученыхъ стали извѣстны въ болѣе широкихъ кругахъ. Дезагюлье былъ сынъ одного протестантскаго священника, который послѣ отмѣны Нантскаго Эдикта покинулъ Францію и переселился въ Англію. Нѣкоторое время онъ былъ профессоромъ въ Оксфордѣ, затѣмъ читалъ лекціи въ Лондонѣ и въ Голландіи. Позднѣе онъ сталъ священникомъ и наконецъ капелланомъ принца Уэльскаго. Имъ было введено для проводника названіе кондуктора. Онъ очень хорошо опредѣлялъ различіе между хорошими и дурными проводниками электричества. Если прикоснуться къ хорошему проводнику, говорилъ онъ, то послѣдній въ то же мгновеніе

http://mathesis.ru

теряетъ все свое электричество. Но если прикоснуться къ дурному проводнику, то онъ теряетъ электричество только въ точкѣ соприкосновенія. Соотвѣтственно названію кондуктора, для дурныхъ проводниковъ позднѣе было введено названіе изолятора.

265. Электрическая машина Отто фонъ-Герике не нашла большого распространенія. Изслѣдованія Грэя и Дюфэ внесли новую жизнь въ изученіе электричества въ университетахъ; появилась настоятельная потребность въ лучшихъ приборахъ для полученія электричества, чѣмъ та стеклянная трубка, которая служила для этой цѣли со временъ Гильберта.

Лейпцигскій профессоръ физики Христіанъ Августъ Гаузенъ въ 1743 году построилъ, по совѣту своего ученика Литцендорфа, электрическую машину, въ которой сѣрный шаръ Герике былъ замѣненъ стекляннымъ.—Профессоръ Бозе (1710—1761) въ Виттенбергѣ раздобылъ себѣ такую машину со стекляннымъ шаромъ и значительно усовершенствовалъ ее тѣмъ, что снабдилъ ее такъ называемымъ кондукторомъ—трубкой изъ жести, которую держало „изолированное“ лицо, т. е. лицо, стоящее на кускѣ смолы или висящее на шелковыхъ шнурахъ.

Бозе прикрѣпилъ къ кондуктору пучекъ проволокъ, которыя, свѣшиваясь до шара, касались его, пока онъ электризовался вращеніемъ и прикосновеніемъ руки. Электричество шло изъ шара по проволокамъ къ кондуктору и на послѣднемъ собиралось въ такомъ количествѣ, что изъ него можно было извлекать сильныя искры. Бозе извлекалъ такія сильныя искры, что чувствовалъ отъ нихъ сотрясеніе во всемъ тѣлѣ. Ему удалось даже зажечь электрической искрой порохъ, что безуспѣшно пытался сдѣлать Дюфэ.

На рис. 203 изображена электрическая машина аббата Нолле, которая въ существенныхъ чертахъ имѣла такое же устройство, какъ и машина Бозе. Стеклянный шаръ приводился въ движеніе при помощи безконечнаго шнурка и электричество по металлической цѣпи передавалось кондуктору, подвѣшенному на шелковыхъ шнурахъ.

Значительное улучшеніе было внесено въ электрическую машину профессоромъ Винклеромъ (1703—1770) въ Лейпцигѣ, который ввелъ особое приспособленіе для натиранія. Вмѣсто того, чтобы натирать стекло рукою, онъ производилъ треніе при помощи двухъ кожаныхъ подушекъ, набитыхъ конскимъ волосомъ и прижимавшихся пружинами къ стеклу. Благодаря этому приспособленію машина стала значительно сильнѣе и Винклеръ получалъ очень сильныя электрическія искры. Такимъ образомъ, онъ могъ зажечь винный спиртъ искрою, извлеченной пальцемъ изъ кондуктора.

Мы можемъ оставить дальнѣйшее развитіе деталей электрической машины. Главныя части ея были изобрѣтены въ Германіи, но наиболѣе цѣлесообразную форму и устройство отдѣльныхъ частей далъ тотъ опытъ, который накоплялся у всѣхъ физиковъ Европы въ послѣдней половинѣ XVII вѣка благодаря множеству экспериментовъ съ ихъ машинами.

Стеклянный шаръ былъ замѣненъ стекляннымъ цилиндромъ, а послѣдній стекляннымъ кругомъ, имѣвшимъ то преимущество, что приспособленіе для натиранія, въ формѣ вилки, могло дѣйствовать на обѣ стороны стекла одновременно. Проволоки, висѣвшія съ кондуктора Бозе, были замѣнены металлической вилкой, между

http://mathesis.ru

зубьями которой двигался кругъ. Эти зубья были усажены остріями со стороны, обращенной къ стеклу. Острія проводили электричество отъ стекла къ вилкѣ.

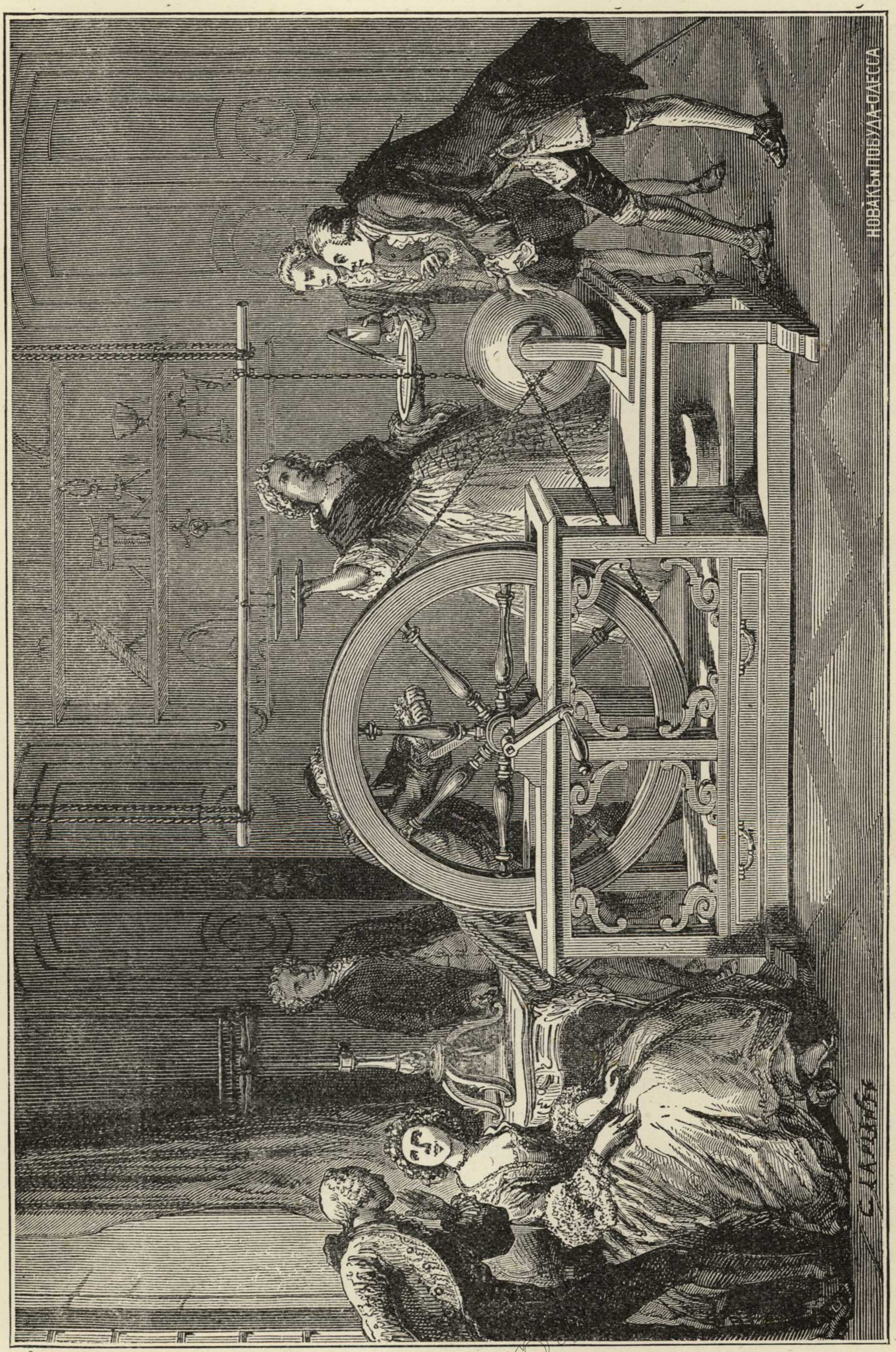


Рис. 203 Электрическая машина абата Нолле.

Отсюда оно шло къ кодуктору, обыкновенно состоявшему изъ одного или изъ нѣсколькихъ полыхъ латунныхъ цилиндровъ, укрѣпленныхъ на стеклянныхъ подставкахъ.

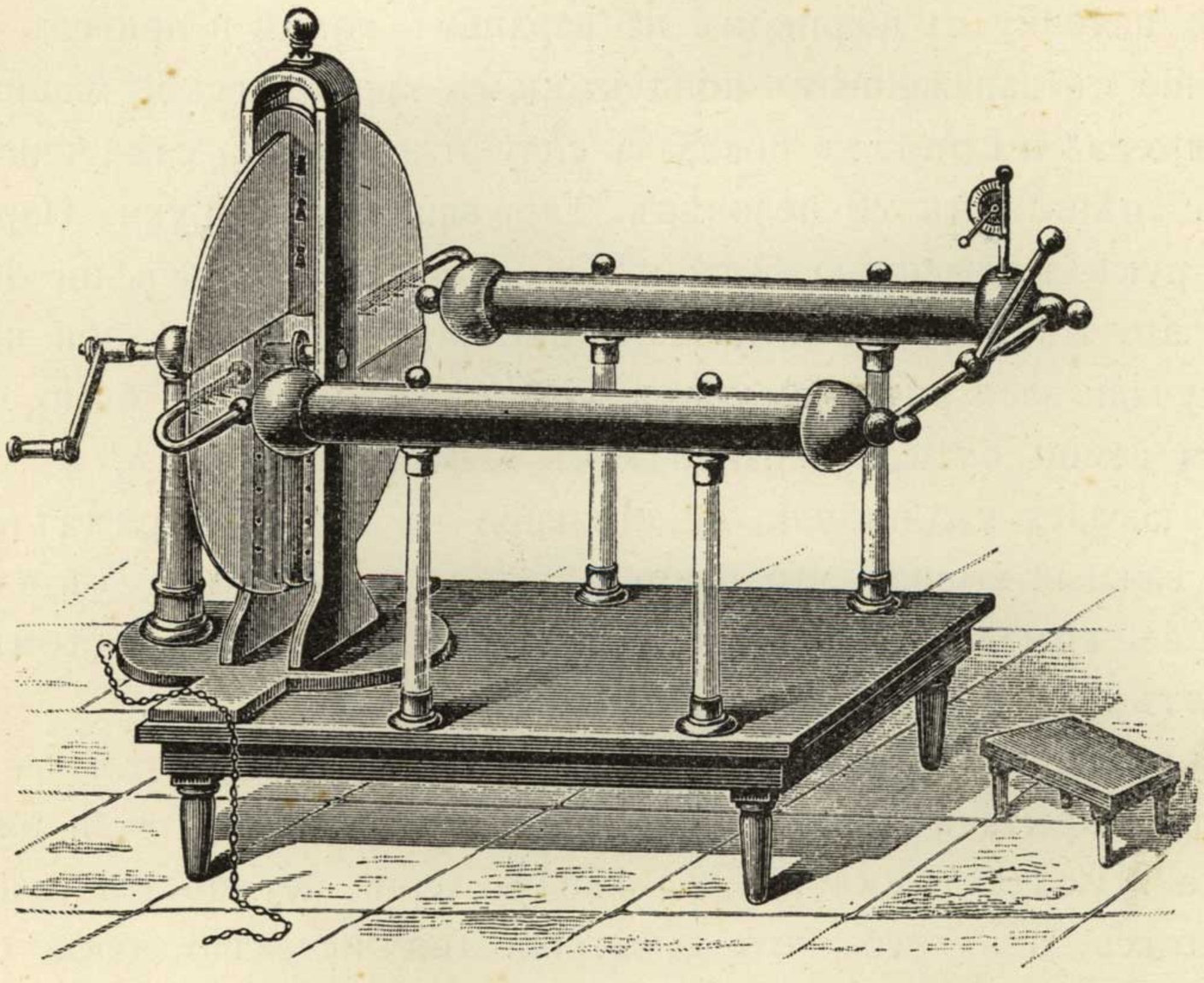
Приспособленіе для натиранія играетъ важную роль въ электрическихъ машинахъ и потому указаніе англійскаго физика Джона Кантона (1718—1772) покрывать натирающія подушки оловянной амальгамой и мѣломъ внесло значительное улучшеніе. Съ такими натирающими подушками машина давала значительно больше электричества, чѣмъ раньше. Въ настоящее время пользуются обыкновенно амальгамой, предложенной въ 1788 году Францомъ фонъ-Кинмайеромъ въ Вѣнѣ и состоящей изъ 2 частей ртути, 1 части цинка и 1 части олова.

При употребленіи электрической машины скоро замѣтили, что приспособленіе для натиранія должно сообщаться проводникомъ съ землей для того, чтобы машина могла давать сильныя искры. Этого достигли тѣмъ, что къ металлическому штативу, на которомъ укрѣплены натирающія части, привѣсили металлическую цѣпь.

Равнымъ образомъ скоро узнали, что хотя стекло и дурной проводникъ электричества, тѣмъ не менѣе оно ненадежный изоляторъ. А именно, стекло гигроскопично, т. е. оно притягиваетъ влагу изъ воздуха и покрывается тонкимъ налетомъ воды, вслѣдствіе чего электричество уходитъ съ него. Поэтому стеклянные изоляторы стали покрывать тонкимъ слоемъ шеллаковаго лака. Впрочемъ, есть и такіе сорта стекла, которые являются дурными изоляторами сами по себѣ.

На рис. 204 изображена довольно близкая къ современнымъ электрическая машина, построенная въ 1766 году зятемъ Джона Доллонда, оптикомъ Джессомъ

Рис. 204



Электрическая машина Рамсдена.

Рамсденомъ (1735—1800). Натираніе производится здѣсь двумя подушками, укрѣпленными на металлическомъ штативѣ, съ котораго виситъ цѣпь до земли. Средняя часть круга, которая не натирается, покрыта лакомъ. Натираясь при вращеніи о подушки, кругъ электризуется и для того, чтобы помѣшать утечкѣ электричества, часть круга окружаютъ особымъ чехломъ изъ шелка, который помѣщается между натирающими подушками и остріями вилокъ. Послѣднія проводятъ электричество отъ круга

http://mathesis.ru

къ кондуктору, состоящему изъ двухъ цилиндровъ на стеклянныхъ подставкахъ. Зарядъ кондуктора измѣряется при помощи такъ называемаго квадрантнаго электрометра Генли. На кондукторѣ укрѣплена отвѣсно небольшая металлическая палочка. Легкій маятникъ (деревянная палочка или соломинка съ бузиннымъ шарикомъ на нижнемъ концѣ), висящій на этой палочкѣ, отталкивается отъ металлической палочки тѣмъ сильнѣе, чѣмъ больше заряженъ кондукторъ. Величину отклоненія маятника можно отсчитывать на раздѣленномъ полукругѣ.—Болѣе точное объясненіе дѣйствія электрической машины будетъ дано ниже.

266. Уже въ 1745 году было сдѣлано открытіе, которому суждено было имѣть большое значеніе для развитія ученія объ электричествѣ. Замѣчательно, что это открытіе было сдѣлано почти одновременно въ Помераніи и въ Голландіи.

Въ Помераніи изобрѣтателемъ былъ соборный настоятель Э. Г. фонъ-Клейстъ въ Камминѣ. Онъ вложилъ въ бутылочку отъ лекарства, которую держалъ въ рукѣ, гвоздь, приблизилъ ее къ заряженному кондуктору и затѣмъ снова удалилъ ее. Коснувшись затѣмъ гвоздя другой рукой, онъ получилъ сильный электрическій ударъ. Позднѣе онъ нашелъ, что этотъ ударъ бываетъ значительно сильнѣе, если склянка наполнена спиртомъ или ртутью.

Нѣсколько мѣсяцевъ спустя (въ декабрѣ 1745 года) Клейстъ сообщилъ о своемъ наблюденіи протодіакону въ Данцигѣ, а послѣдній передалъ о немъ бургомистру этого города Даніэлю Гралату, который только что основалъ „общество естествоиспытателей“. Гралатъ наполнилъ бутылку водою наполовину, помѣстилъ въ нее желѣзную палочку съ шарикомъ на верхнемъ концѣ и привелъ этотъ шарикъ въ соприкосновеніе съ заряженнымъ кондукторомъ электрической машины. Этимъ бутылка была „заряжена“ и Гралатъ показалъ силу этого заряда слѣдующимъ образомъ. Онъ образовалъ „цѣпь“ изъ 20 человѣкъ, державшихся за руки. Первый человѣкъ имѣлъ въ одной рукѣ заряженную бутылку, а у послѣдняго въ цѣпи одна рука была свободна. Когда этотъ послѣдній касался рукою шарика на желѣзной палочкѣ, то всѣ 20 человѣкъ получали электрическій ударъ. Напротивъ, удара не было, если послѣдній человѣкъ касался самой бутылки, равно какъ и въ томъ случаѣ, когда шарика желѣзной палочки касался кто-нибудь, не стоявшій въ цѣпи.—Гралатъ сдѣлалъ изъ своихъ опытовъ важный выводъ, что „заряженная“ бутылка даетъ электрическіе удары только въ томъ случаѣ, когда между желѣзной палочкой и внѣшней поверхностью бутылки устанавливается соединеніе.

267. Какъ оказалось въ началѣ 1746 года, такая же удивительная бутылка была тѣмъ временемъ открыта и въ Лейденѣ, а именно въ лабораторіи извѣстнаго профессора Питера Мусхенбрука (1692—1761). Терпя неудобства при своихъ электрическихъ опытахъ отъ того, что электричество исчезало такъ быстро, Мусхенбрукъ старался устранить это тѣмъ, что собиралъ его въ тѣлѣ, окруженномъ дурнымъ проводникомъ. Онъ наливалъ въ бутылку воды и пытался отвести электричество въ воду по висѣвшей съ кондуктора проволокѣ, что, однако, не удавалось ему. Однажды Кунэусъ, знакомый Мусхенбрука, занимавшійся физическими опытами въ его лабораторіи, держалъ въ рукахъ бутылку, въ которую отводилось электричество (рис. 205); случайно прикоснувшись къ отводящей проволокѣ, онъ получилъ сильный электрическій ударъ. Мусхенбрукъ повторилъ опытъ и получилъ

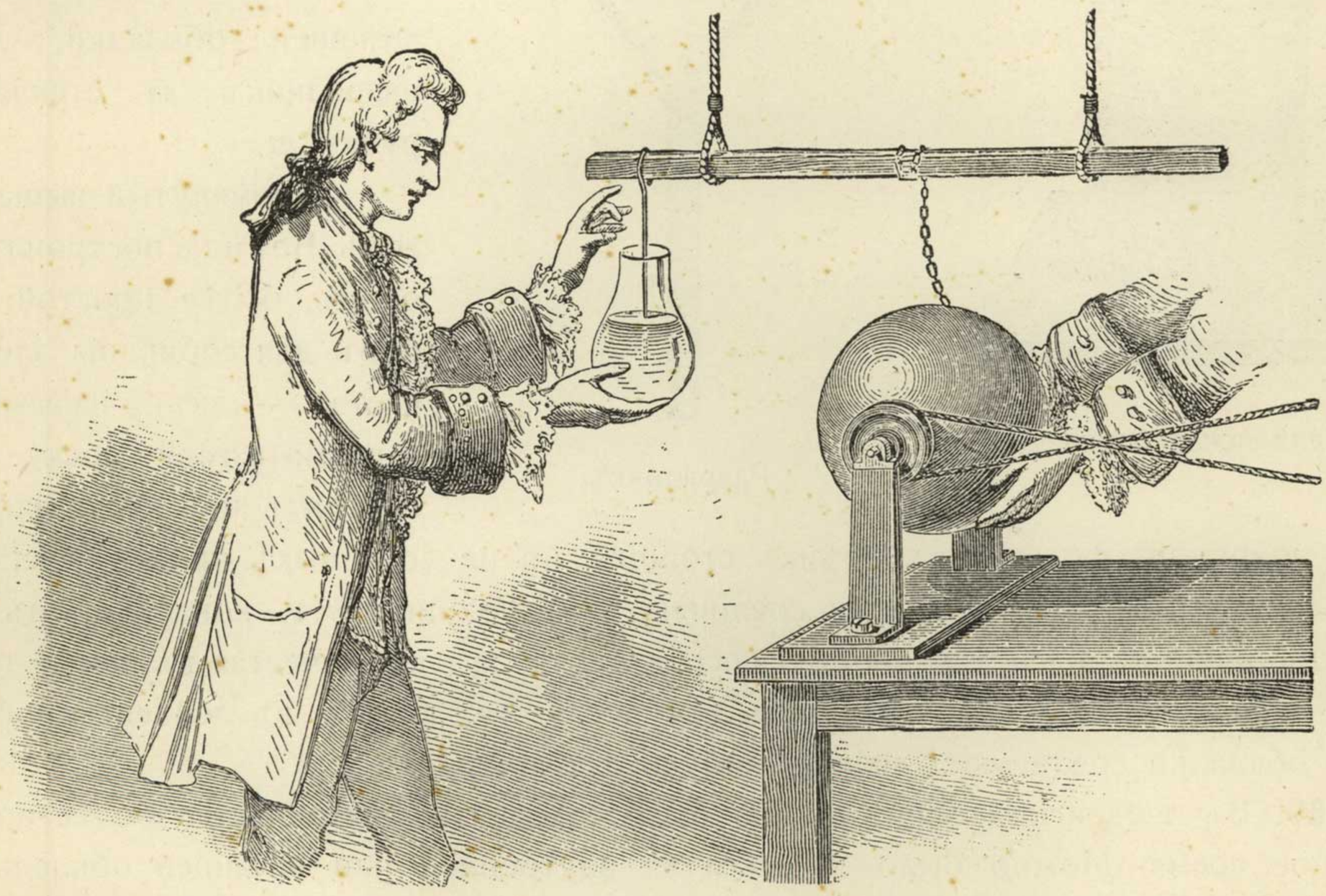
http://mathesis.ru

такой сильный ударъ, что, какъ онъ позднѣе писалъ Реомюру, не хотѣлъ бы получить такой ударъ еще разъ даже за королевскій тронъ Франціи.

Упомянутый выше аббатъ Нолле получилъ извѣстіе объ этой бутылкѣ изъ Лейдена и, такъ какъ онъ былъ въ перепискѣ, такъ сказать, со всѣмъ ученымъ міромъ, то бутылка почти повсюду стала извѣстна подъ именемъ „лейденской", банки, тогда какъ Клейста рѣдко называютъ ея изобрѣтателемъ. Нолле (1700—1770) былъ членомъ французской Академіи и благодаря своей обширной перепискѣ пользовался такимъ огромнымъ вліяніемъ, которое намъ теперь даже трудно понять, послѣ того какъ мѣсто научной переписки вездѣ заняла періодическая печать. И то, что электрическая банка повсюду называется лейденской банкой, а не банкой Клейста, нужно приписать исключительно вліянію Нолле.

268. Объясненія того, какъ дѣйствуетъ эта усиливающая банка, не было, но пользовались ею много, такъ какъ она давала электричество значительной силы.

Рис. 205

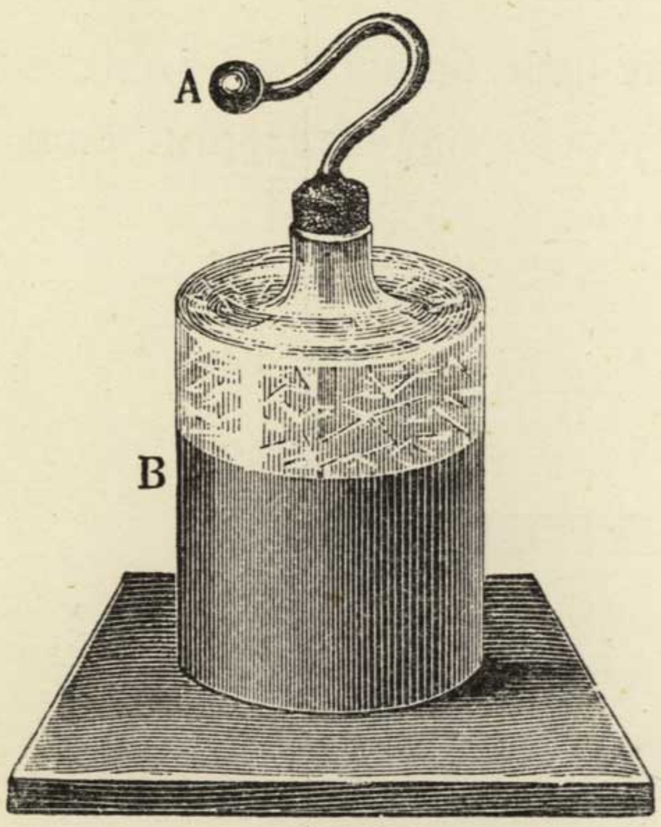


Опытъ въ Лейденѣ.

Очень скоро узнали также, какъ нужно „заряжать" ее. Какъ въ опытѣ Клейста, такъ и въ опытѣ Мусхенбрука банку во время заряжанія держали въ рукѣ. Слѣдовательно, внѣшняя поверхность банки при зарядкѣ должна была соединяться съ землей посредствомъ проводника. Вильямъ Ватсонъ (1715—1787), хранитель физическаго кабинета Royal Society, нашелъ, что банка заряжается тѣмъ сильнѣе, чѣмъ лучше отведена ея внѣшняя поверхность къ землѣ. Нѣкій докторъ Бевисъ, лондонскій врачъ, покрылъ внѣшнюю поверхность банки фольгой. Благодаря этому электричество отводилось со всей ея поверхности, хотя бы съ землею соединялась—прикосновеніемъ руки или какимъ-нибудь инымъ способомъ—только одна ея точка. Другое усовершенствованіе банки, введенное также Ватсономъ, состояло въ томъ, что онъ покрылъ фольгою также внутреннюю поверхность банки и прикрѣпилъ на ниж-

немъ концѣ металлической палочки небольшую металлическую цѣпочку, которая доходила до дна банки. Теперь жидкость была лишней и банка получила то устройство, существенныя черты котораго она сохранила и до нынѣшняго дня (рис. 206). Ни внутренняя, ни наружная обкладка изъ фольги не доходятъ до горлышка банки. —Для „разряда“ банки, какъ показалъ Гралатъ, нужно установить соединеніе между внутренней и внѣшней обкладкой банки при помощи проводника. Это можно сдѣлать, касаясь одною рукой внѣшней обкладки, а другою шарика на концѣ металлической палочки. Но если банка сильно заряжена, электрическій ударъ становится непріятнымъ и въ такомъ случаѣ удобнѣе производить разрядъ при помощи такъ называемаго разрядника (рис. 207). Однимъ изъ двухъ шариковъ *a* и *b* касаются шарика банки, а другимъ ея внѣшней обкладки, держа разрядникъ за стеклянную ручку *m*.

Рис. 206



Лейденская банка.

Рис. 207



Разрядникъ.

Упомянутый выше докторъ Бевисъ построилъ еще одинъ, болѣе простой, приборъ для собиранія электричества — такъ называемую Франклинову доску. Она состоитъ изъ куска плоскаго стекла, покрытаго фольгой съ обѣихъ сторонъ, но не до самыхъ краевъ (рис. 208). Чтобы зарядить ее, одну обкладку соединяютъ проводникомъ съ кондукторомъ электрической машины, а къ другой обкладкѣ для отвода электричества въ землю прикасаются рукою. Когда нужно разрядить эту доску, то, какъ и въ лейденской банкѣ, обѣ ея обкладки соединяютъ какимъ-нибудь проводникомъ.

269. Въ лейденской банкѣ можно было сохранять электричество болѣе продолжительное время. Можно было касаться ея внутренней или внѣшней обкладки, не замѣчая никакого дѣйствія. Можно было даже, удаливъ металлическую палочку съ цѣпочкой, закупорить банку, спустя нѣкоторое время снова вложить металлическую палочку и затѣмъ, соединивъ проводникомъ обѣ обкладки, убѣдиться, что банка еще заряжена.

Лемоннье, лейбъ-медикъ Людовика XVI, сдѣлалъ наблюденіе, имѣвшее большое значеніе для объясненія явленій лейденской банки. А именно, онъ замѣтилъ, что внѣшняя обкладка банки электризуется и притягиваетъ легкія тѣла, если поставить заряженную банку на изолирующую подставку, напримѣръ, на кусокъ смолы, и затѣмъ коснуться ея шарика. Однако, Лемоннье не повелъ дѣла дальше. Только Франклинъ далъ объясненіе этому интересному явленію.

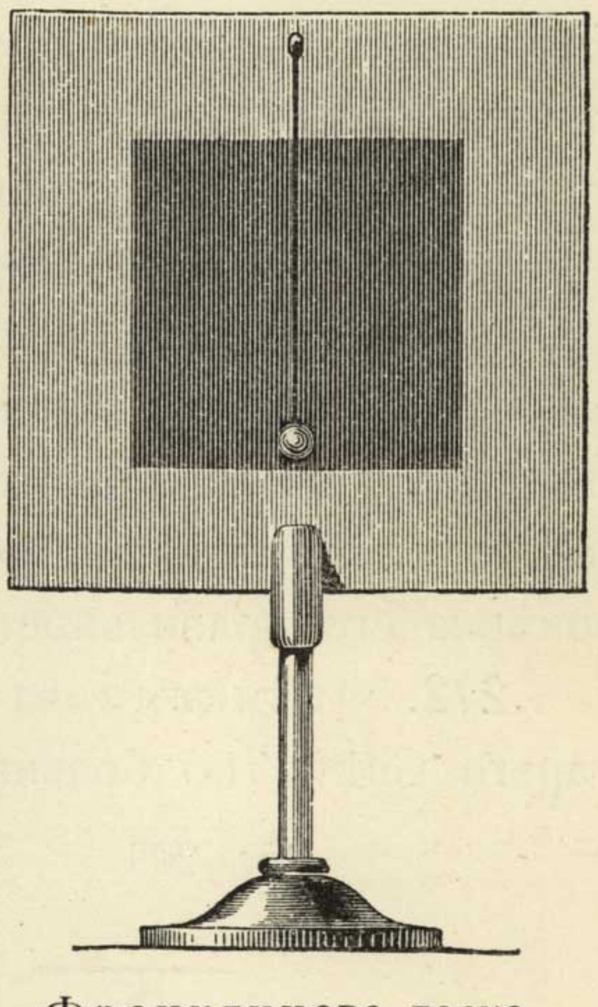
270. Бенджаминъ Франклинъ родился въ 1706 году на маленькомъ островкѣ Бостонской гавани, Говернорсъ-Айландѣ. Отецъ его былъ англійскаго, а мать голландскаго происхожденія. Бенджаминъ, въ семьѣ котораго было 16 дѣтей, рано дол-

http://mathesis.ru

женъ былъ стать помощникомъ своего отца, который былъ мыловаромъ; правильное образованіе онъ получалъ лишь въ теченіе короткаго времени. Въ возрастѣ 12 лѣтъ онъ поступилъ въ обученіе къ своему старшему сводному брату, типографу и издателю газеты. Онъ усердно пользовался представившейся здѣсь возможностью читать. Свою литературную дѣятельность онъ началъ тѣмъ, что подсунулъ подъ дверь типографіи анонимную статейку. Когда эта статейка встрѣтила благопріятный пріемъ, онъ признался брату въ своемъ авторствѣ. Такъ какъ отношенія между ними были плохи, то онъ оставилъ дѣло брата и переселился въ Филадельфію, гдѣ нашелъ работу въ типографіи. Здѣсь на дѣльнаго юношу обратилъ вниманіе англійскій губернаторъ Кейтъ, побудившій его провести нѣсколько времени въ Англіи для основательнаго обученія своему дѣлу. По возвращеніи оттуда Франклинъ въ 1728 году открылъ въ Филадельфіи типографію и началъ свою широкую дѣятельность, какъ организаторъ молодого американскаго общества.

271. Уже въ 1727 году Франклинъ основалъ общество, которое занималось какъ политикой, такъ и науками, особенно естественными. Въ этомъ кружкѣ онъ въ 1745 году началъ свои изслѣдованія по электричеству. Благодаря содѣйствію Питера Коллинсона въ Лондонѣ, члена Royal Society, онъ получалъ различные электрическіе приборы, въ числѣ которыхъ была и лейденская банка. —Результаты своихъ изслѣдованій Франклинъ описалъ въ рядѣ писемъ (1747—1754) къ Коллинсону, читавшему ихъ въ собраніяхъ Royal Society. Эти письма были написаны ясно и интересно и были немедленно переведены на разные языки.

Рис. 208



Франклинова доска.

Во второмъ письмѣ (1747 года) Франклинъ предложилъ свою теорію электричества. По его мнѣнію существуетъ электрическій флуидъ, проникающій всѣ тѣла. Частицы электрическаго флуида отталкиваются другъ отъ друга, но притягиваются частицами тѣлъ.—Если тѣло содержитъ такое количество электрическаго „вещества“, какое оно можетъ воспринять безъ образованія избытка на поверхности, то тѣло является ненаэлектризованнымъ. Если образуется избытокъ электричества, то тѣло становится наэлектризованнымъ положительно (стеклянное электричество). Если же, напротивъ, тѣло потеряло часть своего „естественнаго“ количества электричества, то оно является наэлектризованнымъ отрицательно (смоляное электричество). Такимъ образомъ Франклинъ допускалъ не два рода электричества, а два электрическихъ состоянія, изъ которыхъ одно обусловливается слишкомъ большимъ, а другое слишкомъ малымъ содержаніемъ электричества. Слѣдовательно, тѣло можетъ электризоваться какъ тѣмъ, что ему доставляютъ электричество въ избыткѣ, такъ и тѣмъ, что у него отнимаютъ электричество. Полученіе электричества натираніемъ согласно этой теоріи нужно представлять такъ, что при натираніи электричество одного тѣла переходитъ въ другое, такъ что одно изъ нихъ электризуется положительно, а другое отрицательно.

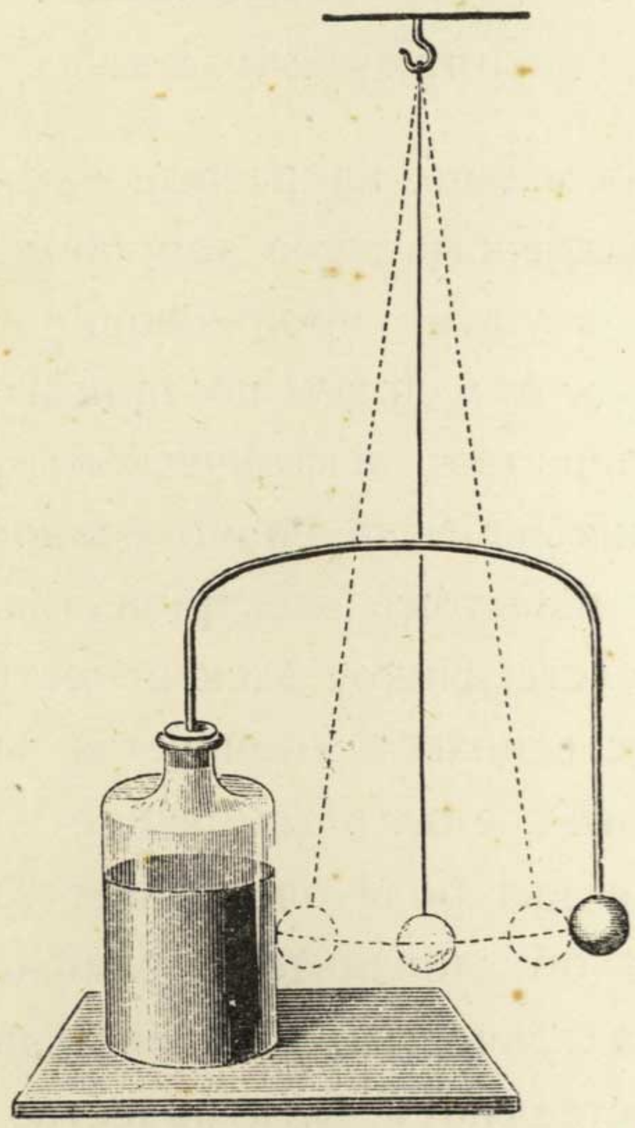
Теперь мы будемъ пользоваться вмѣсто терминовъ „стеклянное“ и „смоляное электричество“ названіями „положительнаго“ и „отрицательнаго“ электричествъ, кото-

http://mathesis.ru

рыя ввелъ Франклинъ. Эти названія имѣютъ то преимущество, что они какъ бы указываютъ на то, что обозначаемыя ими двѣ вещи, могутъ уничтожать другъ друга, какъ положительныя и отрицательныя числа. Однако, Франклину было нелегко объяснить при помощи своей теоріи опыты Дюфэ. Что положительно заряженное тѣло отталкиваетъ другое тѣло съ положительнымъ зарядомъ, Франклинъ объяснялъ тѣмъ, что частицы электрическаго флуида взаимно отталкиваются. Можно было кое-какъ объяснить и притяженіе между положительно наэлектризованными и отрицательно наэлектризованными тѣлами, говоря, что „естественное“ состояніе стремится возстановиться, причемъ тѣло, содержащее слишкомъ много электричества, отдаетъ часть его тому тѣлу, которое содержитъ его слишкомъ мало. Подобнымъ же образомъ можно объяснить и притяженіе между наэлектризованнымъ и ненаэлектризованнымъ тѣломъ. Причину этого можно было видѣть въ томъ, что электричество стремится распредѣлиться равномѣрно въ обоихъ тѣлахъ. „Естественное“ состояніе стремится возстановиться, насколько возможно. Но объяснить, почему отталкиваются два тѣла съ отрицательнымъ зарядомъ, было трудно. Франклинъ помогъ себѣ допущеніемъ, что частицы тѣлъ сами отталкиваются, если не обладаютъ нормальнымъ содержаніемъ электричества. Но это объясненіе очень искусственно и страдаетъ тѣмъ же недостаткомъ, какъ и соотвѣтственное объясненіе Эпинуса (§ 212) относительно магнитизма, т. е. провѣрка его правильности опытомъ невозможна.

272. Франклинова теорія электричества нашла хорошій пріемъ у физиковъ Стараго Свѣта, но больше всего имя Франклина стало извѣстнымъ въ научныхъ кругахъ Европы благодаря его объясненію дѣйствія лейденской банки. Франклинъ нашелъ, что внутренняя и внѣшняя обкладки банки заряжены противоположными электричествами. Это можно было доказать и при помощи электрическаго маятника, но Франклинъ построилъ особый аппаратъ, который лучше обнаруживалъ электрическое состояніе обкладокъ заряженной лейденской банки. Металлическая палочка изображенной на рис. 209 банки изогнута и на концѣ снабжена латуннымъ шарикомъ. Этотъ шарикъ содержитъ, слѣдовательно, то же электричество, какъ и внутренняя обкладка банки. Къ латунному шарику приближаютъ бузинный, подвѣшенный на шелковинкѣ. Бузинный шарикъ притягивается мѣднымъ, послѣ соприкосновенія отталкивается имъ, но притягивается внѣшней обкладкой банки. Послѣ соприкосновенія онъ отталкивается послѣдней, но снова притягивается латуннымъ шарикомъ и т. д. Бузинный шарикъ колеблется между мѣднымъ шарикомъ (соединеннымъ съ внутренней обкладкой) и внѣшней обкладкой и при каждомъ своемъ колебаніи переноситъ часть электричества съ одной обкладки на другую. Такимъ образомъ банка постепенно разряжается. Само собою разумѣется, что когда между обкладками уже нѣтъ разницы въ электрическомъ состояніи, маятникъ остается въ покоѣ.

Рис. 209



Опытъ Франклина съ Лейденской банкой.

Процессъ заряжанія банки Франклинъ объясняетъ слѣдующимъ образомъ. Если соединить внутреннюю обкладку съ положительно заряженнымъ кондукторомъ, то электричество переливается въ банку. Вслѣдствіе этого измѣняется электрическое состояніе внѣшней обкладки. А именно, положительное электричество на внутренней обкладкѣ банки дѣйствуетъ отталкивающимъ образомъ на электричество внѣшней обкладки (не нужно забывать, что при зарядкѣ банки нужно касаться ея, для соединенія съ землей). Поэтому внѣшняя обкладка банки электризуется отрицательно и Франклинъ утверждалъ, что количество отрицательнаго электричества на внѣшней обкладкѣ такъ же велико, какъ и сообщенное внутренней обкладкѣ. Значитъ, общее количество электричества, содержащееся въ банкѣ, остается совершенно одинаковымъ до зарядки и послѣ нея. Заряжаніе состоитъ только въ томъ, что на одной обкладкѣ получается избытокъ электричества, а на другой недостатокъ его по сравненію съ неэлектрическимъ состояніемъ. Два электричества не могутъ соединиться подъ вліяніемъ притяженія, которое онѣ оказываютъ другъ на друга, такъ какъ этому мѣшаетъ стекло, т. е. дурной проводникъ. Но притяженіе вызываетъ электрическое „напряженіе“, которое существуетъ постоянно и которое соединяетъ противоположныя электричества, какъ скоро между обкладками устанавливается сообщеніе при помощи проводника. — Франклинъ заряжалъ банку также и „наоборотъ“, т. е. онъ ставилъ ее на кусокъ смолы и проводилъ къ внѣшней обкладкѣ электричество отъ положительно заряженнаго кондуктора, касаясь въ то же время пальцемъ шарика, соединеннаго съ внутренней обкладкой. Въ этомъ случаѣ внѣшняя обкладка электризовалась положительно, а внутренняя отрицательно.

Въ одномъ изъ своихъ писемъ къ Коллинсону Франклинъ объясняетъ, какъ можно перевести зарядъ изъ одной банки въ другую, поясняя это рис. 210.

Рис. 210



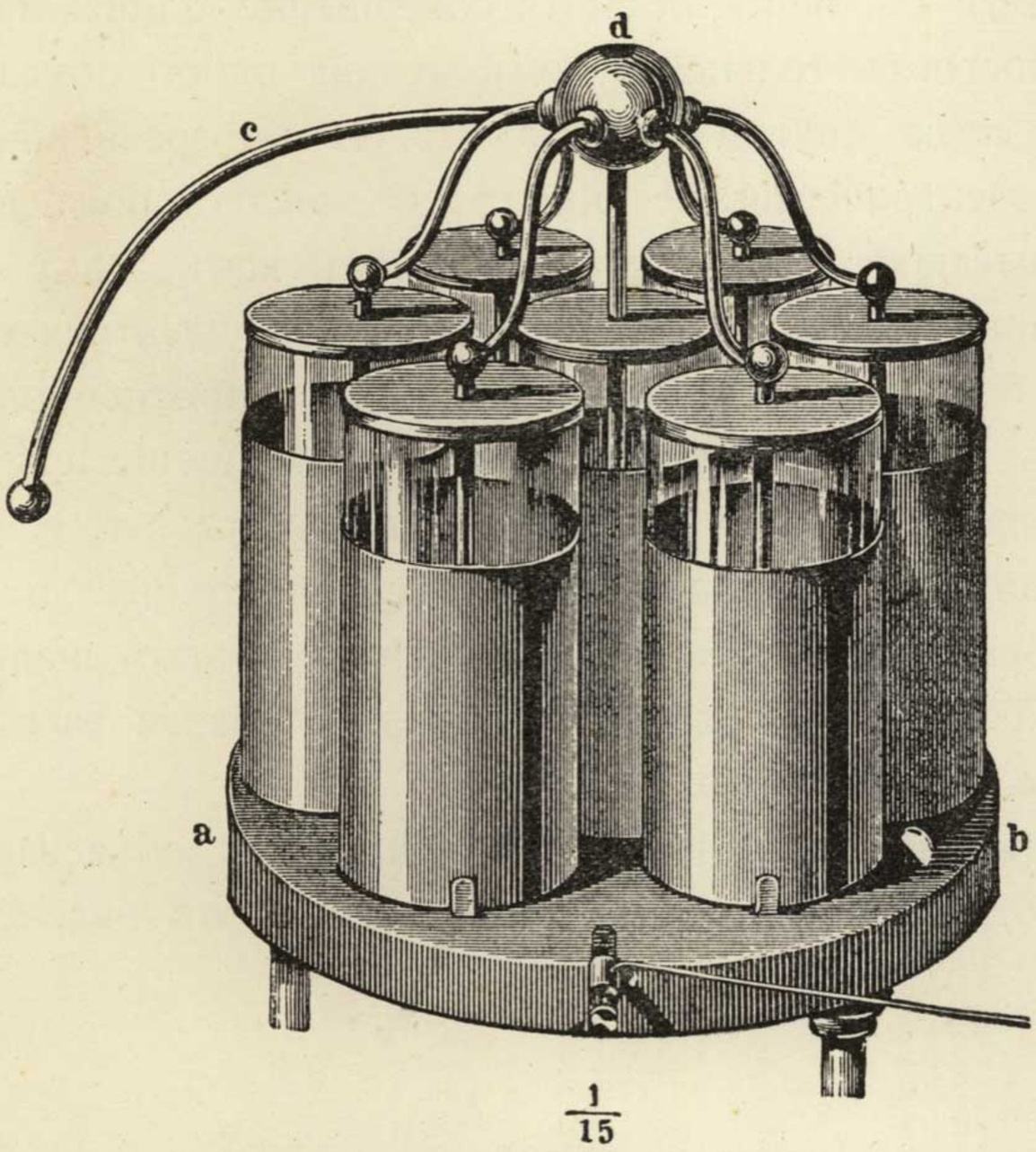
Разрядъ одной лейденской банки въ другую.

Банки 1 и 2 обѣ заряжены. Одинъ человѣкъ касается внѣшней обкладки банки 1, другой шарика банки 2. Если теперь третій человѣкъ, стоящій на изолирующей подставкѣ, соединяетъ проводникомъ внутреннюю обкладку банки 1 съ внѣшней обкладкой банки 2, то обѣ банки разряжаются. Положительное электричество банки 1 переносится такимъ образомъ на внѣшнюю обкладку банки 2, которая была заряжена отрицательно. Этотъ опытъ также доказывалъ, что обкладки лейденской банки заряжены противоположными электричествами.

http://mathesis.ru

273. Количество электричества, которое можетъ перейти съ заряженнаго кондуктора въ лейденскую банку, конечно, тѣмъ больше, чѣмъ больше металлическая обкладка банки. Когда хотятъ имѣть очень большую металлическую поверхность, то вмѣсто одной большой банки удобнѣе имѣть болѣе значительное число малыхъ банокъ, соединенныхъ въ такъ называемую батарею (рис. 211). Такого рода батареями пользовались какъ Гралатъ, такъ и Винклеръ. Банки стоятъ на металлической доскѣ, отведенной къ землѣ, а всѣ внутреннія обкладки соединены металлическими стержнями, которые въ свою очередь соединены съ кондукторомъ машины. Всѣ банки заряжаются одновременно. Точно такъ же одновременно онѣ и разряжаются, когда между внутренней и внѣшними обкладками устанавливается соединеніе при помощи проводника.

Рис. 211



$\frac{1}{15}$

Батарея лейденскихъ банокъ.

Стеклянныя стѣнки лейденской банки, какъ было сказано, должны препятствовать соединенію электричествъ двухъ обкладокъ. При сильномъ зарядѣ, однако, напряженіе между двумя обкладками можетъ стать такимъ большимъ, что электричества пройдутъ сквозь стеклянную стѣнку и разобьютъ ее. Но, какъ открылъ Франклинъ, стеклянная стѣнка играетъ здѣсь еще и другую роль. На рис. 212 изображена пластинка для заряжанія, или конденсаторъ, которая устроена такъ, что обкладки *A* и *B* укрѣпленныя на стеклянныхъ подставкахъ, можно удалять отъ стекла *C*. Съ такою пластинкой Франклинъ произвелъ слѣдующій опытъ. Обкладки *A* и *B* касались стекла, причемъ *A* получала положительный зарядъ отъ кондуктора машины, а *B* при помощи металлической цѣпи соединялась съ землей. Когда пластинка была заряжена, соединеніе *A* съ кондукторомъ и *B* съ землею прерывалось. Затѣмъ обкладки *A* и *B* удалялись отъ стекла *C* и оказывалось, что на нихъ было только чрезвычайно ничтожное количество электричества. Но когда ихъ разряжали и снова приводили въ соприкосновеніе со стекломъ *C*, обкладки снова получали почти совершенно такой же зарядъ, какъ вначалѣ. Франклинъ сдѣлалъ отсюда выводъ, что электричество находится главнымъ образомъ на поверхности стекла, гдѣ его удерживаетъ взаимное притяженіе. При этомъ онъ высказалъ взглядъ, что степень возможнаго „напряженія“ электричества по обѣ стороны стекла зависитъ и отъ свойствъ самого стекла.

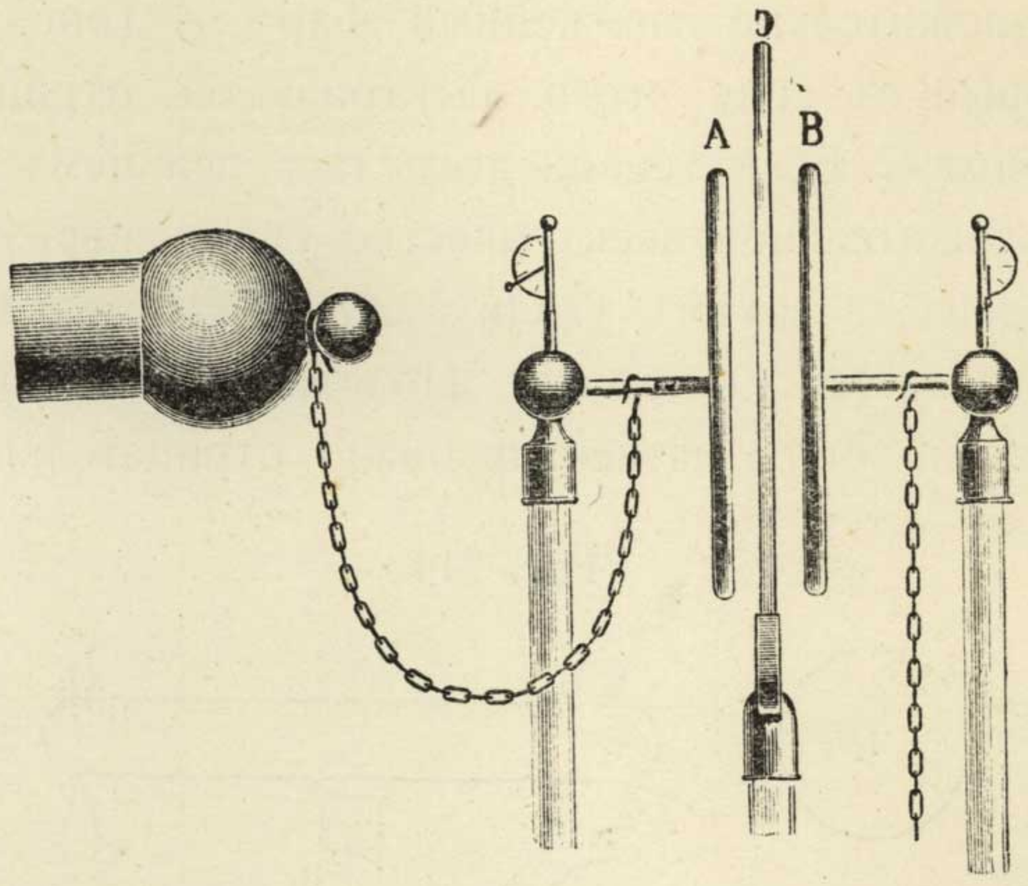
274. Еще раньше Винклеръ ввелъ особое понятіе „электрической атмосферы“. Онъ представлялъ себѣ электричество въ видѣ чрезвычайно тонкаго эѳирнаго вещества. При электризаціи тѣла натираніемъ процессъ, по его мнѣнію, состоитъ въ

http://mathesis.ru

томъ, что тѣло облекается электрической атмосферой, причемъ треніе и производитъ то, что частички электричества отдѣляются отъ частичекъ самого тѣла.

Конечно, приходилось говорить о положительной и объ отрицательной „электрической атмосферѣ“, такъ какъ были извѣстны какъ положительно-электрическія, такъ и отрицательно-электрическія тѣла. Удивительно, что Франклинъ также пользовался этимъ представленіемъ объ электрической атмосферѣ, хотя оно плохо согласовалось съ его взглядомъ на отрицательное электричество.—Членъ Royal Society (§ 265) Джонъ Кантонъ рядомъ опытовъ доказалъ, однако, что допущеніе этой „электрической атмосферы“ невозможно. Онъ замѣтилъ, что при натираніи фланелью гладкое стекло электризуется положительно, а матовое, напротивъ того, отрицательно. Было бы, конечно, чрезвычайно странно допускать, что натираніе гладкаго стекла производитъ положительную, а натираніе матоваго стекла — отрицательную электрическую атмосферу.

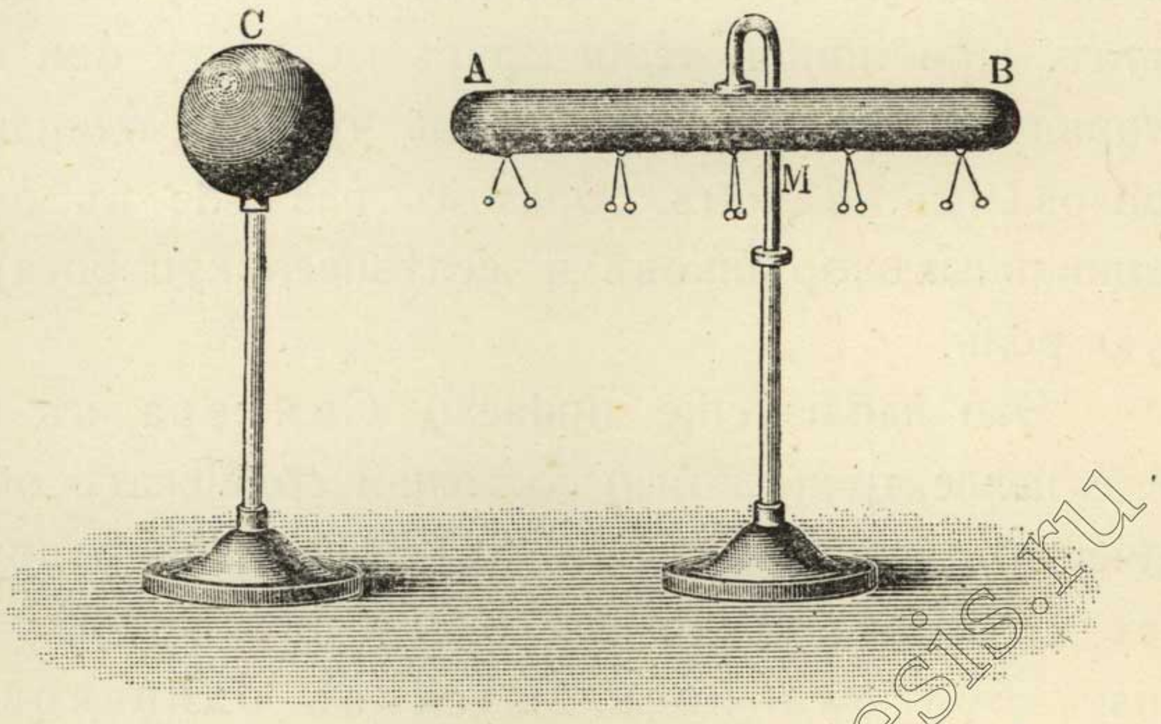
Рис. 212



Конденсаторъ съ подвижными обкладками.

Еще труднѣе было согласовать съ понятіемъ электрическихъ атмосферъ другое сдѣланное имъ открытіе. Кантонъ приближалъ отрицательно заряженный шаръ *C* (рис. 213) къ металлическому цилиндру *AB*, изолированному стеклянной ножкой. Висѣвшіе на цилиндрѣ маленькіе маятники расходились,—знакъ того, что цилиндръ электризовался при приближеніи наэлектризованнаго шара. При болѣе точномъ изслѣдованіи оказалось, что металлическій цилиндръ на концѣ *A* электризуется положительно, а на концѣ *B* отрицательно. Такимъ образомъ, цилиндръ долженъ былъ имѣть на одномъ концѣ положительную, а на другомъ отрицательную атмосферу. По мнѣнію Кантона это было слишкомъ искусственное объясненіе. Самъ онъ, однако, не могъ объяснить этого явленія инымъ способомъ лучше, чѣмъ объяснялъ его Франклинъ.

Рис. 213



Опытъ Кантона.

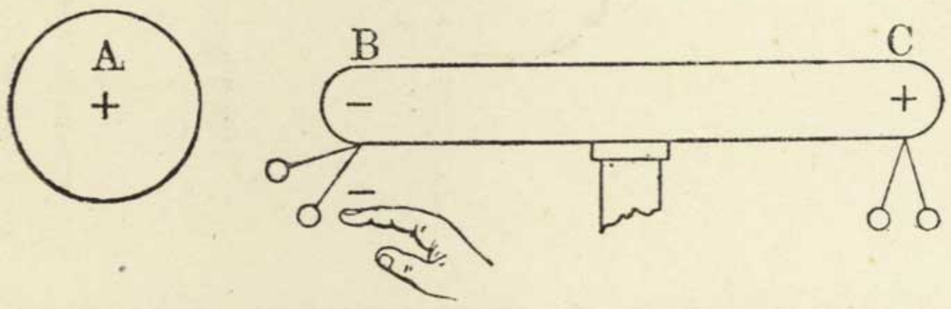
Вильке (§ 51) повторилъ опыты Кантона и описалъ ихъ точнѣе; онъ побудилъ также заняться этимъ вопросомъ своего друга Эпинуса (§ 212). Послѣдній былъ приверженцемъ теоріи Франклина и съ ея помощью объяснилъ открытія Кантона. Когда положительно заряженный шаръ *C* приближается къ цилиндру *AB*, то электричество, находящееся въ цилиндрѣ *AB* при естественномъ состояніи, отталкивается къ концу *B*. Такимъ обра-

http://mathesis.ru

зомъ, конецъ B цилиндра электризуется положительно, а конецъ A, откуда электричество отталкивается, электризуется отрицательно. На срединѣ AB, въ мѣстѣ перехода отъ положительнаго къ отрицательному электричеству, электрической силы нѣтъ и маятники здѣсь не расходятся (рис. 213). Напряженіе электричества убываетъ отъ концовъ къ срединѣ. Когда наэлектризованный шаръ C удаляется, положительное и отрицательное электричества снова соединяются и AB становится неэлектрическимъ.

Эпинусъ доказалъ справедливость своего объясненія слѣдующимъ опытомъ. Положительно заряженный шаръ A (рис. 214) приближается къ цилиндру BC, который въ силу этого электризуется отрицательно на концѣ B и положительно на концѣ C. Если теперь коснуться пальцемъ цилиндра BC въ какомъ-нибудь мѣстѣ, то положительное электричество уйдетъ черезъ тѣло въ землю. И если послѣ этого отнять палецъ, а затѣмъ удалить A, то BC вездѣ будетъ имѣть отрицательный зарядъ. Это согласуется съ теоріей. Положительное электричество удалено прочь, значитъ, тѣло должно быть наэлектризовано отрицательно. Въ этомъ случаѣ тѣло наэлектризовалось, не будучи натираемо и не касаясь какого-нибудь наэлектризованнаго тѣла. Такого рода электризацію согласно теоріи Симмера (ср. слѣдующій § 275) называютъ электризаціей чрезъ вліяніе.

Рис. 214



Электризація чрезъ вліяніе.

275. Въ 1759 году въ Philosophical Transactions появился рядъ статей о „двухъ электрическихъ силахъ“. Ихъ авторъ, Робертъ Симмеръ (ум. 1763), въ этихъ статьяхъ снова вернулся къ теоріи Дюфэ, т. е. къ теоріи, что существуетъ два рода электричества. Симмеръ обыкновенно носилъ двѣ пары шелковыхъ чулокъ, черныхъ и бѣлыхъ, надѣтыхъ одни поверхъ другихъ. Стягивая однажды въ темнотѣ верхнюю пару, онъ замѣтилъ электрическія искры, сопровождавшіяся легкимъ трескомъ. Снятые чулки были какъ бы надуты, такъ что ихъ можно было поставить на стулѣ. При приближеніи другъ къ другу они сильно отталкивались. Симмеръ повторилъ то же самое съ двумя чулками одинаковаго цвѣта, но послѣдніе не наэлектризовались. Такимъ образомъ различіе въ окраскѣ (черная краска получалась изъ чернильныхъ орѣшковъ и желѣзнаго купороса) играло въ этомъ явленіи существенную роль.

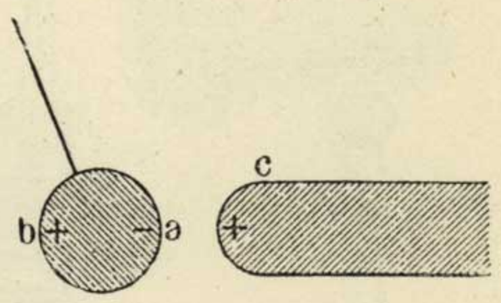
Это наблюденіе привело Симмера къ гипотезѣ, что тѣла въ естественномъ (т. е. неэлектрическомъ) состояніи содержатъ оба рода электричества въ равномъ количествѣ. Но если тереть два тѣла одно о другое, то положительное электричество переходитъ въ одно изъ нихъ, а отрицательное въ другое и притомъ оба они появляются въ одинаковомъ количествѣ. При этомъ допущеніи находятъ очень простое объясненіе и тѣ явленія электризаціи чрезъ вліяніе, которыя наблюдались Кантономъ и Эпинусомъ. Если приближать положительноэлектрическое тѣло A (рис. 214) къ неэлектрическому кондуктору BC, то A притягиваетъ отрицательное электричество и отталкиваетъ положительное. Такимъ образомъ, первое собирается на концѣ B, а послѣднее на концѣ C. Съ удаленіемъ A эти два электричества снова соединяются и BC становится неэлектрическимъ. Если, напротивъ, коснувшись BC, отвести электричество въ землю, пока A находится еще

http://mathesis.ru

вблизи, то положительное электричество уходитъ и на BC остается отрицательное. Если теперь прервать соединеніе съ землей и затѣмъ удалить A, то BC оказывается заряженнымъ отрицательнымъ электричествомъ. Тѣло BC зарядилось чрезъ вліяніе.

Что тѣло, содержащее равномѣрно смѣшанныя одинаковыя количества положительнаго и отрицательнаго электричества, не обнаруживаетъ электрическихъ силъ, Симмеръ объясняетъ слѣдующимъ образомъ. Пусть c (рис. 215) будетъ положительно заряженное тѣло. Когда оно притягиваетъ бузинный шарикъ, то въ послѣднемъ электричество раздѣляется. Сторона, обращенная къ тѣлу c, электризуется отрицательно, противоположная положительно и, разумѣется, притяженіе между c и a будетъ больше, чѣмъ отталкиваніе между c и b. Такимъ образомъ, шарикъ будетъ притягиваться къ c. Но еслибы каждая часть c вмѣсто положительнаго электричества содержала такое же количество отрицательнаго, то распредѣленіе электричества въ шарикѣ было бы обратное: въ a находилось бы положительное, а въ b отрицательное электричество. Если въ c равномѣрно смѣшаны положительное и отрицательное электричества въ равномъ количествѣ, то шарикъ, очевидно, остается неэлектрическимъ, т. е. въ немъ не происходитъ раздѣленія электричествъ.

Рис. 215



Объясненіе Симмера.

Электричество при соприкосновеніи въ теоріи Симмера представляется нѣсколько иначе, чѣмъ въ теоріи Франклина. Согласно первой при соприкосновеніи на шарикъ переходитъ изъ c нѣкоторое количество положительнаго электричества, согласно же послѣдней имѣетъ мѣсто обратное: отрицательное электричество шарика переходитъ въ c, а положительное остается на шарикѣ.

276. Можетъ показаться, что такъ называемая дуалистическая теорія Симмера не такъ проста, какъ унитарная теорія Франклина. Но въ дѣйствительности при объясненіи электрическихъ явленій послѣдняя представляетъ больше трудностей, чѣмъ первая. Припомнимъ, что по Франклиновой теоріи не легко объяснить, почему отрицательно-электрическія тѣла отталкиваются. Согласно теоріи Симмера отрицательно-электрическія тѣла отталкиваются по той же причинѣ, по какой отталкиваются и положительно-электрическія, если результаты опытовъ Дюфэ представить въ такой простой формѣ: однородныя электричества отталкиваются, разнородныя притягиваются.

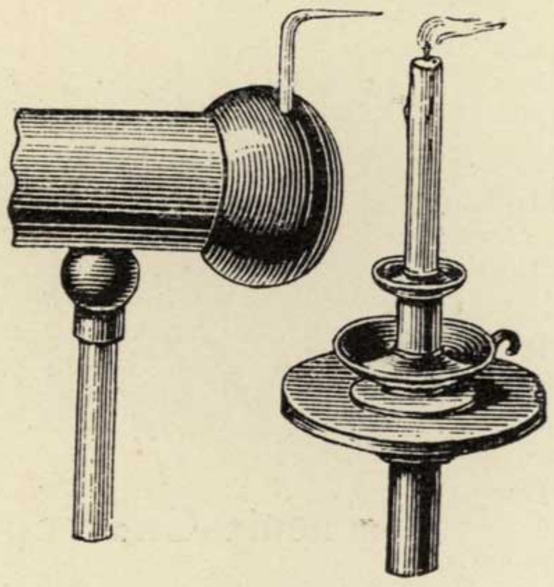
Франклинъ самъ сдѣлалъ открытіе, которое явилось сильной опорой теоріи Симмера и которое побудило различныхъ физиковъ, напримѣръ, упомянутаго выше Вильке, отказаться отъ унитарной теоріи и принять дуалистическую.

Открытіе Франклина касалось дѣйствія остроконечій, помѣщенныхъ на кондукторѣ или передъ нимъ. Если помѣстить заостренную металлическую палочку на заряженный кондукторъ, то электричество начинаетъ истекать по этому острію и кондукторъ разряжается. Если направить заостренный конецъ металлической палочки къ заряженному кондуктору, то даже на значительномъ разстояніи онъ будетъ притягивать электричество изъ кондуктора. Такимъ образомъ Франклинъ разряжалъ кондукторъ при помощи спицы на разстояніи одного фута. Вильке очень тщательно изслѣдовалъ это явленіе и нашелъ, что при этомъ видѣ разряда отъ острія идетъ токъ воздуха, который и уноситъ электричество. Если кондукторъ заряженъ достаточно

http://natalis.ru

сильно, положительнымъ или отрицательнымъ электричествомъ—безразлично, то отъ острія идетъ такой воздушный токъ, что имъ можно задуть пламя свѣчи (рис. 216). Изображенную на рис. 217 электрическую мельничку можно даже привести въ движеніе этимъ такъ называемымъ „электрическимъ вѣтромъ“, такимъ же образомъ, какъ эолипилъ Герона (§ 56) приводился въ движеніе паромъ. Ея устройство ясно изъ чертежа. Электрическій вѣтеръ происходитъ отъ того, что частицы воздуха (или носящіяся въ воздухѣ частицы пыли), касаясь острія, электризуются и затѣмъ отталкиваются остріемъ. Производя эти опыты въ темной комнатѣ, Герике замѣтилъ, что истеченіе электричества связано со свѣтовыми явленіями: изъ острія, по которому уходило электричество, исходилъ пучокъ свѣта. По мнѣнію Вильке эти явленія было трудно согласовать съ теоріей Франклина. Дѣйствительно, по этой теоріи только положительно заряженный кондукторъ могъ отдавать электричество, отрицательно же заряженный, напротивъ, долженъ былъ бы вбирать въ себя электричество. Поэтому Вильке перешелъ на сторону теоріи Симмера и его примѣру послѣдовало много другихъ физиковъ.

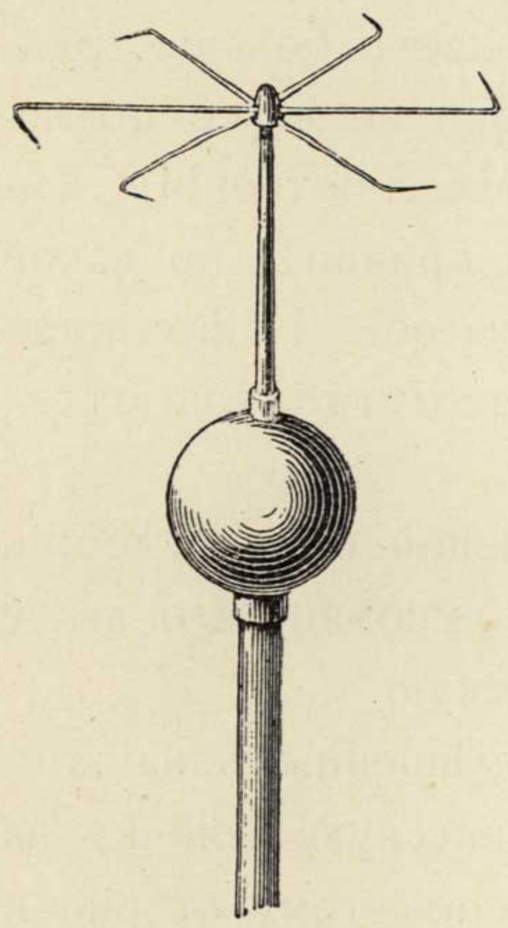
Рис. 216



Дѣйствіе остроконечій.

Впрочемъ, истеченіе отрицательнаго электричества изъ остроконечій можно объяснить и при помощи теоріи Франклина. Именно, отрицательно наэлектризованное остріе притягиваетъ частицы воздуха, которыя отдаютъ ему часть своего электричества, затѣмъ отталкиваются и уходятъ уже наэлектризованными отрицательно, т. е. съ недостаткомъ электричества.—Такимъ образомъ, явленія на остріяхъ не подрывали унитарной теоріи. Еще и теперь остается нерѣшеннымъ, существуетъ ли два электрическихъ флуида или только одинъ. Впрочемъ, обѣ эти теоріи являются только вспомогательными средствами, дающими намъ возможность удобно формулировать въ словахъ ходъ явленій. Ни одна изъ нихъ не можетъ утверждать, что она даетъ дѣйствительное объясненіе явленій. Въ дальнѣйшемъ мы будемъ пользоваться выраженіями дуалистической теоріи.

Рис. 217



Электрическая мельничка.

277. Открытіе Франклина, состоящее въ томъ, что при помощи заостренной металлической палочки можно отнимать электричество отъ заряженнаго кондуктора даже съ болѣе значительнаго разстоянія, можетъ быть легко объяснено. Именно, кондукторъ (рис. 218) раздѣляетъ электричество въ тѣлѣ съ остріемъ, и если кондукторъ заряженъ положительно, то съ острія къ кондуктору течетъ отрицательное электричество. Поэтому кондукторъ совершенно или отчасти теряетъ свой зарядъ.

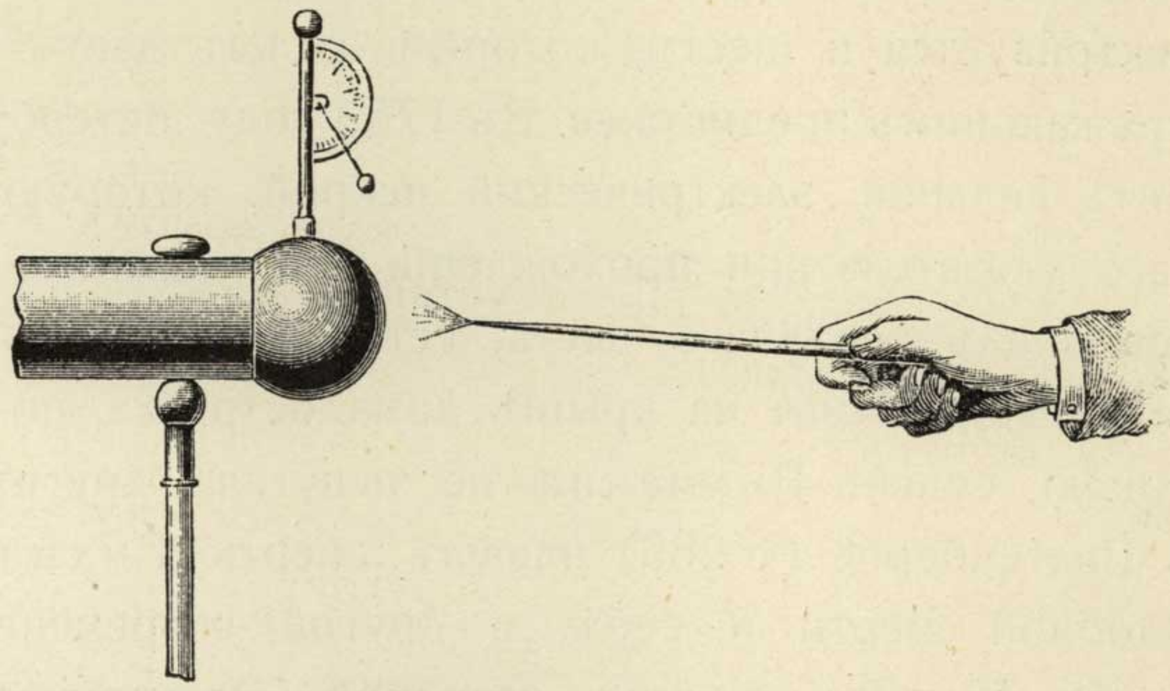
Наблюденія надъ дѣйствіемъ остроконечій стоятъ въ самой тѣсной связи съ наиболѣе знаменитымъ изобрѣтеніемъ Франклина, громоотводомъ.

Уже докторъ Воллъ (§ 258) высказалъ предположеніе, что молнія представляетъ сильную электрическую искру, а позднѣе Винклеръ утверждаетъ съ полнѣйшей опредѣленностью, что молнія отличается отъ электрической искры не по существу,

http://mathesis.ru

а только по степени. Опыты съ лейденской банкой, дававшей очень сильныя искры, въ значительной мѣрѣ подтверждали правильность этого предположенія, хотя и не представляли рѣшительнаго доказательства. Франклинъ нѣсколько разъ касался этого вопроса въ своихъ письмахъ къ Коллинсону. Такъ, въ 1750 году онъ писалъ: „Если грозовыя облака дѣйствительно наэлектризованы, то нельзя ли въ такомъ случаѣ защитить отъ удара молніи дома, церкви, корабли и пр. устройствомъ высокихъ заостренныхъ желѣзныхъ шестовъ? Отъ основанія такого желѣзнаго шеста должна была бы идти по наружной стѣнѣ дома въ землю или по борту корабля въ воду металлическая проволока. Эти заостренные желѣзные шесты, вѣроятно, безшумно отводили бы электричество изъ облака прежде, чѣмъ послѣднее приблизилось бы настолько, чтобы можно было опасаться удара молніи; этимъ способомъ можно было бы защититься отъ этого ужаснаго несчастья.“

Рис. 218



Дѣйствіе остроконечій.

278. Франклинъ предложилъ рѣшить вопросъ о томъ, наэлектризованы ли грозовыя облака; онъ полагалъ, что человѣкъ, помѣщенный изолированно на башнѣ или на другомъ высокомъ мѣстѣ и держащій заостренный кусокъ желѣза концомъ къ облаку, наэлектризуется и самъ, если въ облакахъ есть электричество (ср. рис. 219). Самъ Франклинъ не сдѣлалъ этого опыта. Но одинъ французъ, по имени Далибаръ, въ 1752 году установилъ въ одномъ мѣстѣ въ окрестностяхъ Парижа желѣзный шестъ вышиною въ 40 футовъ, въ извѣстной мѣрѣ изолированный деревянной рѣшеткой. Когда, 10 мая, надъ этимъ шестомъ прошло грозовое облако, шестъ наэлектризовался такъ сильно, что изъ него можно было извлекать искры длиною въ $1^1/_2$ дюйма. Въ то же время Делоръ въ Парижѣ установилъ желѣзный шестъ вышиною въ 99 футовъ, при помощи котораго 18 мая онъ извлекъ искры при прохожденіи надъ нимъ грозового облака. Франклинъ также убѣдился при помощи еще одного опыта въ томъ, что въ грозовыхъ облакахъ есть электричество. Это произошло въ іюнѣ того же года, еще раньше, чѣмъ ему пришлось услышать что-нибудь объ опытахъ, сдѣланныхъ въ Европѣ. Франклинъ запустилъ подъ облака сдѣланный изъ шелка воздушный змѣй. Къ змѣю было прикрѣплено металлическое остріе, а къ послѣднему пеньковая бечевка, за которую змѣй держали. На нижнемъ концѣ бечевки висѣлъ ключъ, а къ послѣднему была привязана шелковая веревочка, служившая изолирующей рукояткой. Когда змѣй подымался по направленію къ грозовымъ облакамъ и послѣ того, какъ бечевка намокала отъ дождя, изъ ключа можно было извлекать искры. Эти опыты не оставляли никакихъ сомнѣній въ томъ, что грозовыя облака наэлектризованы и что молнія есть электрическая искра. Рис. 218 поясняетъ дѣйствіе облака на заостренный желѣзный шестъ или на змѣй. Электричество облака раздѣляетъ электричество въ шестѣ и въ послѣднемъ получается то электричество, которое имѣетъ облако, противоположное же электричество стекаетъ съ него по направленію къ облаку.

Франклинъ поставилъ на своемъ домѣ заостренный желѣзный шестъ, съ помощью котораго онъ могъ наблюдать электрическое состояніе воздуха. Пользуясь электрическимъ маятникомъ, онъ могъ наблюдать, какого рода электричество содержалъ шестъ. Къ своему удивленію онъ замѣтилъ, что бываютъ и положительно и отрицательно наэлектризованныя облака. Обыкновенно они бываютъ наэлектризованы отрицательно.

Съ этого времени многіе физики стали наблюдать съ помощью „электрическаго шеста“ электрическое состояніе воздуха, но только постепенно они успѣли выработать необходимыя предохранительныя приспособленія. Въ самомъ дѣлѣ, такой шестъ можетъ стать очень опаснымъ, такъ какъ при сильной электризаціи облаковъ очень сильно электризуется и шестъ, который затѣмъ даетъ сильныя искры (молніи) отъ себя къ окружающимъ предметамъ. Въ 1753 году петербургскій профессоръ Рихманнъ былъ убитъ сильной электрической искрой, которую онъ извлекъ изъ своего электрическаго указателя при прохожденіи надъ домомъ грозового облака. Его указатель состоялъ изъ желѣзнаго шеста, установленнаго въ комнатѣ и соединеннаго проволокой съ помѣщавшимся на крышѣ дома остріемъ, но не снабженнаго отводомъ къ землѣ. Однако, судьба Рихманна не испугала другихъ наблюдателей. Профессоръ Бозе въ Виттенбергѣ (§ 265) нашелъ смерть Рихманна такой прекрасной, что желалъ подобной смерти и себѣ, а другой современникъ, докторъ Крюницъ, находилъ судьбу Рихманна даже завидной. Электрическій шестъ вызвалъ настоящій энтузіазмъ и имя Франклина было на устахъ у всѣхъ.

279. Какъ уже было упомянуто, Франклинъ имѣлъ въ виду практическую цѣль. Онъ хотѣлъ найти защиту отъ ударовъ молніи для зданій и кораблей и идея громоотвода была у него еще раньше, чѣмъ онъ окончательно удостовѣрился въ томъ, что молнія есть электрическая искра. Поставленный на его домѣ шестъ былъ первымъ громоотводомъ,—онъ провелъ отъ него проволоку, которую соединилъ съ желѣзной помпой, стоявшей въ колодцѣ.

Этотъ первый громоотводъ обладалъ всѣми существенными свойствами хорошаго громоотвода. Онъ подымался надъ тѣмъ зданіемъ, которое нужно было защитить отъ ударовъ молніи, и былъ связанъ металлическимъ проводомъ съ влажною, т. е. проводящею электричество, почвою. О томъ, какую вышину долженъ имѣть громоотводъ для того, чтобы вполнѣ защитить зданіе, какой толщины онъ долженъ быть, чтобы не расплавиться отъ удара молніи, и какимъ образомъ нужно производить въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ соединеніе съ землей, —относительно всего этого Франклинъ не могъ дать опредѣленныхъ указаній. Надежный отвѣтъ на эти вопросы могъ дать только опытъ. Но прежде чѣмъ остановиться подробнѣе на этихъ вопросахъ, мы сначала разсмотримъ дѣйствіе грозовыхъ облаковъ на землю и на другія облака.

280. Рис. 219 показываетъ дѣйствіе вліянія наэлектризованнаго облака на землю. Отрицательное электричество (—) притягивается имъ, а положительное (+) отталкивается. Распредѣленіе электричества на землѣ, т. е. электризація земной поверхности, зависитъ отъ различныхъ обстоятельствъ, а именно, отъ количества электричества въ облакѣ, отъ высоты облака надъ землею и отъ состава почвы въ данномъ мѣстѣ. Если послѣдняя очень плохо проводитъ электричество, то дѣйствіе вліянія облаковъ будетъ очень незначительно, хотя бы само облако было наэлектри-

http://mathesis.ru

зовано сильно. Напротивъ того, если почва состоитъ изъ хорошихъ проводниковъ, то вліяніе наэлектризованнаго облака будетъ велико. Послѣднее имѣетъ мѣсто особенно во влажной почвѣ и въ водѣ. Во влажныхъ слояхъ земли корни деревьевъ и другихъ растеній проводятъ электричество къ частямъ растеній, находящимся надъ землею. Въ зданіяхъ притягиваемое электричество также подымается вверхъ. Между облакомъ и землею, съ находящимися на ней предметами, возникаетъ электрическое напряженіе. Облако и почва образуютъ двѣ обкладки конденсатора, изолирующимъ слоемъ котораго является находящійся между ними воздухъ. Но когда напряженіе между обкладками конденсатора дѣлается достаточно сильнымъ, электричество „ударяетъ“ сквозь стекло (§ 273). Такимъ же образомъ электричество проходитъ черезъ воздухъ между облакомъ и землею, и эти электричества облака и земли соединяются. Когда въ воздухѣ происходитъ быстрое соединеніе значительныхъ количествъ электричества, то получается электрическая искра, показывающая путь, по которому происходитъ соединеніе. Эта электрическая искра и есть молнія. Ея путь обыкновенно представляетъ зигзагообразную линію, рѣже прямую. Свойства и дѣйствіе электрической искры подробно описаны въ § ~~298~~ 300. Здѣсь нужно только замѣтить, что путь молніи опредѣляется двумя обстоятельствами. Молнія падаетъ на тѣ мѣста земной поверхности, гдѣ электрическое напряженіе больше всего, напряженіе же зависитъ отъ количества раздѣленныхъ электричествъ и отъ разстоянія между двумя массами разноименныхъ электричествъ. Въ то же время молнія попадаетъ въ точку, гдѣ электрическое напряженіе больше всего, тѣмъ путемъ, который представляетъ наименьшее сопротивленіе.—Подобно тому какъ текущая вода всегда избираетъ тотъ путь, на которомъ ея паденіе больше всего, такъ и электричество распространяется всегда по тому пути, въ которомъ встрѣчаетъ наименьшее сопротивленіе. Винклеръ доказалъ это опытами съ лейденской банкой. Именно, соединяя ея внѣшнюю и внутреннюю обкладку, причемъ проводникомъ служили одновременно и его тѣло и длинная тонкая металлическая проволока, онъ совершенно не ощущалъ электрическаго разряда,—послѣдній шелъ исключительно по металлической проволокѣ.

Рис. 219



Дѣйствіе грозового облака чрезъ вліяніе.

Если вблизи наэлектризованнаго облака находится ненаэлектризованное, то пер-

вое изъ нихъ оказываетъ дѣйствіе не только на землю, но одновременно и на другое облако (рис. 220). Если же между этими двумя облаками происходитъ разрядъ, то дѣйствіе вліянія грозовыхъ облаковъ прекращается и раздѣленныя въ землѣ электричества соединяются. Это производитъ на ту часть земли, гдѣ это случается, такое дѣйствіе, какъ будто въ это мѣсто ударила молнія. Этотъ такъ называемый возвратный ударъ упоминается впервые лордомъ Стангопомъ въ 1779 году. Конечно, ударъ чувствуется и въ тѣхъ мѣстахъ земной поверхности, которыя лежатъ по сосѣдству съ тѣмъ мѣстомъ, куда разряжается электричество. Этотъ ударъ иногда достигаетъ такой силы, что убиваетъ людей и животныхъ.

281. Громоотводъ Франклина былъ устроенъ въ соотвѣтствіи съ этимъ дѣйствіемъ грозовыхъ облаковъ. Громоотводъ доходитъ внизу до влажныхъ слоевъ земли. Грозовое облако своимъ вліяніемъ электризуетъ послѣднюю и притягиваемое облакомъ электричество поднимается по металлическому проводнику къ острію громоотвода. Здѣсь возникаетъ сильное электрическое напряженіе, электричество течетъ по направленію къ облаку и ослабляетъ электричество послѣдняго. Но если напряженіе между облакомъ и землею настолько сильно, что получается молнія, то послѣдняя ударяетъ въ остріе громоотвода, которое ближе къ облаку, чѣмъ зданіе, и напряженіе котораго также значительнѣе, чѣмъ напряженіе зданія.

Рис. 220



Дѣйствіе облаковъ другъ на друга.

Многіе современники Франклина не понимали способа дѣйствія громоотвода. Нѣкоторые изъ нихъ, напримѣръ, врачъ Іоганнъ Реймарусъ (1729—1814) въ Гамбургѣ, опасались, что молнія попавъ въ почву, можетъ вызывать взрывы подпочвенныхъ водъ.

Однажды итальянскій физикъ Джованни Беккаріа (1716—1781) пропустилъ сильную электрическую искру сквозь трубку, наполненную водой, и при этомъ образовалось такое количество паровъ, что трубка лопнула.—Реймарусъ полагалъ, что нѣчто подобное произойдетъ и въ томъ случаѣ, если молнія будетъ отведена въ подпочвенную воду, т. е. при этомъ образуется много паровъ, а вслѣдствіе того и сильный взрывъ. Реймарусъ думалъ, что этимъ путемъ могутъ возникать землетрясенія, достаточно сильныя для того, чтобы разрушить зданіе, на которомъ находится громоотводъ. Это были, однако, совершенно неосновательные страхи, такъ какъ электрическій разрядъ про-

http://mathesis.ru

исходитъ по тому пути, на которомъ молнія встрѣчаетъ наименьшее сопротивленіе. Поэтому, чѣмъ лучше проводитъ тотъ путь, по которому идетъ молнія, тѣмъ меньше вреда причиняетъ она на этомъ пути. Нужно также замѣтить, что молнія представляетъ собою соединеніе двухъ родовъ электричества, изъ которыхъ одно идетъ отъ облака, другое отъ земли. Поэтому безразлично, сказать ли, что молнія ударила изъ облака въ землю или что она ударила изъ земли въ облако. Какъ ни представлять себѣ это, задача громоотвода состоитъ въ томъ, чтобы установить соединеніе, при помощи проводника, между электричествомъ облака и электричествомъ земли, обусловленнымъ вліяніемъ облака. Поэтому громоотводъ долженъ отводиться до подпочвенной воды.

Другое соображеніе, приводившееся противъ Франклинова громоотвода, касалось самого острія. Членъ Royal Society Бенджаминъ Вильсонъ (1708—1788) объявилъ, что заостренный громоотводъ опасенъ, такъ какъ онъ притягиваетъ молнію, т. е. содѣйствуетъ тому, чтобы изъ облака получался ударъ, который въ противномъ случаѣ и не произошелъ бы надъ даннымъ мѣстомъ. По мнѣнію Вильсона громоотводъ долженъ былъ заканчиваться не остріемъ, а, напротивъ, шаромъ.

Другіе физики были того мнѣнія, что громоотводы нужно снабжать не однимъ остріемъ, а значительнымъ числомъ ихъ. На самомъ дѣлѣ почти безразлично, оканчивается ли громоотводъ острымъ или тупымъ концомъ, поскольку дѣло касается того, чтобы привлечь молнію. Можетъ быть, дальность удара молніи по направленію къ острому проводнику нѣсколько больше, чѣмъ къ тупому, но зато острый конецъ лучше отводитъ, такъ какъ съ него стекаетъ больше электричества къ облаку, чѣмъ съ тупого. Въ настоящее время употребляютъ вообще остроконечные громоотводы.

282. Во многихъ мѣстахъ введеніе громоотводовъ встрѣчало сильное сопротивленіе, такъ какъ въ молніи видѣли орудіе божеской кары и потому въ введеніи громоотвода усматривали попытку освободиться отъ праведнаго божескаго наказанія. Этимъ предразсудкамъ, а равно и неправильной установкѣ громоотводовъ нужно приписать, что это приспособленіе прививалось такъ медленно и далеко не вездѣ.

Въ настоящее время громоотводы устанавливаются по преимуществу только на дорогихъ постройкахъ, а также на школахъ, госпиталяхъ, тюрьмахъ, казармахъ, музеяхъ, библіотекахъ, пороховыхъ магазинахъ и другихъ общественныхъ зданіяхъ. Лишь въ немногихъ мѣстахъ громоотводами снабжаются и частныя зданія вообще. Такою страною, въ которой почти каждый домъ имѣетъ громоотводъ, является, напримѣръ, западный Гольштейнъ.

При установкѣ громоотвода главную роль играетъ вопросъ, какъ защитить зданіе отъ молніи наиболѣе дешевымъ путемъ. Самый громоотводъ въ существенномъ состоитъ изъ тѣхъ же трехъ частей, изъ которыхъ состоялъ громоотводъ Франклина, а именно изъ земной проводки, воздушной проводки и шпица.

Земная проводка должна представлять хорошее соединеніе между воздушной проводкой и землей. Она состоитъ изъ пластинки или сѣтки, сдѣланныхъ изъ того же металла (желѣза или мѣди), какъ и воздушная проводка. Нерѣдко пользуются также цинкомъ. Помѣщать пластинку лучше всего въ почвенной водѣ или, во всякомъ случаѣ, во влажной землѣ, для того чтобы она была хорошо „отведена“. Если пластинка помѣщается въ водѣ, то она должна быть величиной приблизительно въ одинъ квадратный метръ. Если она находится во влажной землѣ, то она должна быть

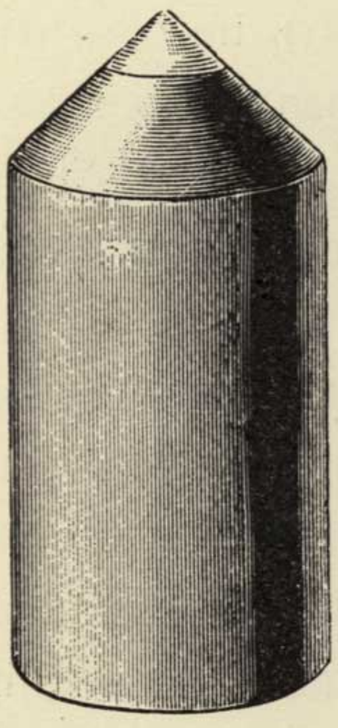
http://rcin.org.pl

вдвое больше. Если подпочвенная вода лежитъ очень глубоко, то вблизи земной поверхности помѣщаютъ „вспомогательную пластинку“, вокругъ которой земля дѣлается проводникомъ отъ просачивающейся дождевой воды. Пластинка должна стоять отвѣсно, такъ какъ въ этомъ случаѣ электричество будетъ отводиться одинаково хорошо въ обѣ стороны. Если пластинка находится въ колодцѣ, то ее нельзя дѣлать изъ мѣди, такъ какъ этотъ металлъ отравилъ бы воду.

Воздушная проводка образуетъ соединеніе между пластинкой въ землѣ и шпицомъ и должна быть сдѣлана изъ того же металла, желѣза или мѣди, изъ котораго сдѣлана пластинка. Оба металла обыкновенно употребляются въ видѣ проволочныхъ канатовъ, сплетенныхъ изъ 7—10 проволокъ. Гальванизованная желѣзная проволока такъ же прочна, какъ и мѣдная, и значительно дешевле ея.

Верхняя часть громоотвода, шпицъ, представляетъ желѣзный шестъ, на который навинчивается толстый мѣдный наконечникъ (рис. 221). Верхній конецъ этого наконечника дѣлается изъ платины, которая очень тугоплавка и не измѣняется на воздухѣ.

Рис. 221



Мѣдное остріе громоотвода.

Отдѣльныя части громоотвода должны быть тщательно соединены и спаяны между собою такъ, чтобы представлять одинъ непрерывный металлическій проводъ отъ шпица до пластинки въ землѣ.

283. Теперь возникаетъ вопросъ, какіе размѣры долженъ имѣть громоотводъ и на какое разстояніе простирается его дѣйствіе. На эти вопросы можетъ дать отвѣтъ только опытъ. Если проводникъ состоитъ изъ мѣднаго каната, то послѣдній долженъ имѣть около 15 *мм* толщины, а отдѣльныя проволоки должны быть въ діаметрѣ не меньше 2 *мм*. Одинаковое съ этимъ дѣйствіе оказываетъ мѣдный шестъ толщиною въ 10 *мм*. Если проводникъ сдѣланъ изъ желѣзнаго каната, то послѣдній нужно брать толщиною въ 25—30 *мм*. Діаметръ отдѣльныхъ проволокъ долженъ быть около 4 *мм*. Массивный желѣзный шестъ можетъ имѣть въ толщину 20 *мм*. Что касается пластинки въ землѣ, то мѣдная должна имѣть не меньше 2 *мм* въ толщину, а желѣзная не меньше 5 *мм*. При такихъ размѣрахъ не надо будетъ опасаться, что молнія можетъ расплавить проводникъ; а съ другой стороны, пластинка указанной толщины сохраняется въ землѣ довольно долгое время, не разрушаясь отъ окисленія окончательно. Разумѣется, тонкая пластинка сама по себѣ дѣйствуетъ такъ же хорошо, какъ и болѣе толстая.

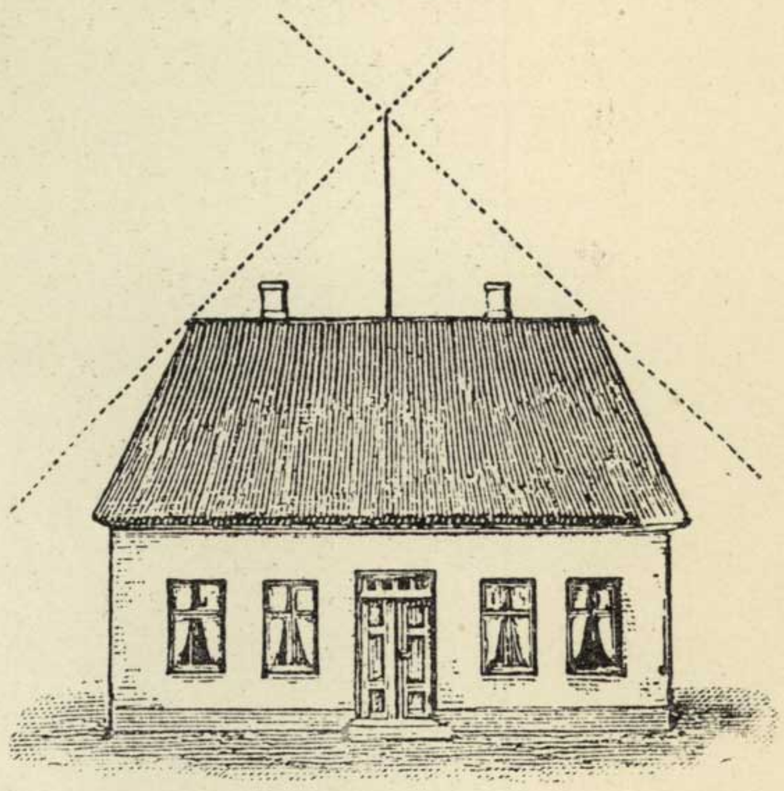
Трудно отвѣтить на вопросъ, какъ велико пространство, которое защищается даннымъ громоотводомъ, такъ какъ это зависитъ отъ очень разнообразныхъ обстоятельствъ, напримѣръ, въ значительной степени отъ того направленія, по которому молнія должна дѣйствовать при ударѣ въ зданіе. На ровныхъ мѣстахъ облака обыкновенно идутъ высоко надъ земной поверхностью и можно съ увѣренностью принять, что направленіе молніи никогда не уклоняется отъ отвѣсной линіи больше, чѣмъ на 45°. При такомъ предположеніи зданіе, очевидно, будетъ защищено, если шпицъ громоотвода находится на высотѣ бо̀льшей, чѣмъ его разстояніе отъ самой далекой точки конька крыши, такъ какъ въ такомъ случаѣ путь по громоотводу будетъ короче всякаго другого пути сквозь зданіе (рис. 222). На этомъ рисункѣ высота шпица равна половинѣ длины карниза крыши, а отъ конца шпица проведена пунктирная линія, составляющая съ отвѣсной линіей уголъ въ 45°.—Если предста-

http://mathesis.ru

вить себѣ, что облако, разряжающееся надъ зданіемъ, находится внутри конуса, образованнаго пунктирными линіями, то легко видѣть, что шпицъ громоотвода ближе къ грозящей молніи, чѣмъ любая другая точка въ пространствѣ подъ шпицомъ между указанными двумя линіями,—въ такъ называемомъ первомъ защитномъ поясѣ или защитномъ конусѣ. Легко видѣть по рис. 223, что высота шпица въ сильной степени обусловливается формою крыши.

Для плоскихъ крышъ требуются болѣе высокіе шпицы, чѣмъ для крутыхъ, а гдѣ фронтонъ идетъ до самаго конька крыши, тамъ требуется гораздо болѣе высокій шпицъ, чѣмъ для крыши съ откосами на всѣ стороны (см. рис. 223). Основаніе и вышина стѣнъ во всѣхъ этихъ трехъ зданіяхъ на рисункѣ одинаковы.

Рис. 222

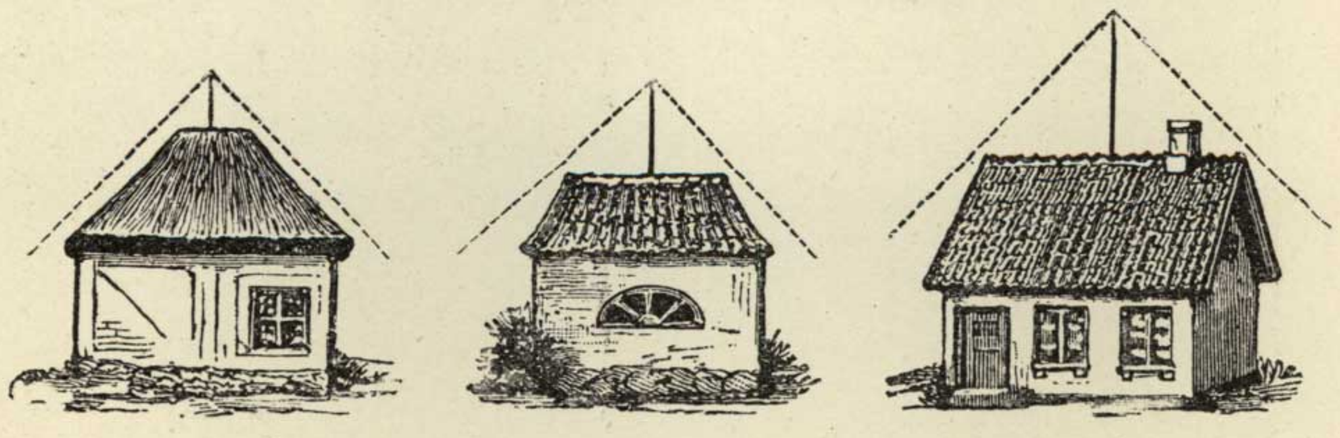


Первый защитный поясъ громоотвода.

Но нѣтъ необходимости, чтобы все зданіе находилось въ первомъ защитномъ конусѣ,—въ немъ должны лежать, однако, наиболѣе высокіе углы, дымовыя трубы, башенки и проч. Составляя проектъ устройства громоотвода, спеціалистъ долженъ принять во вниманіе существующія соотношенія. Общихъ правилъ для всѣхъ деталей нельзя дать. Самыя высокія ребра зданія должны лежать во второмъ защитномъ конусѣ, который охватываетъ вдвое бо́льшее пространство, чѣмъ первый. Всѣ высоко лежащія части поверхности крыши должны лежать въ третьемъ защитномъ конусѣ, а низкіе углы въ „конусѣ $2^1/_2$“.

Для того же, чтобы выполнить эти условія безъ слишкомъ большого числа шпицевъ, слѣдовало бы дѣлать ихъ высокими, но это непрактично, такъ какъ высокіе шпицы очень тяжелы и особенно потому, что за ними трудно присматривать. Поэтому болѣе цѣлесообразно установить большее число низкихъ шпицевъ, чѣмъ немного высокихъ.

Рис. 223



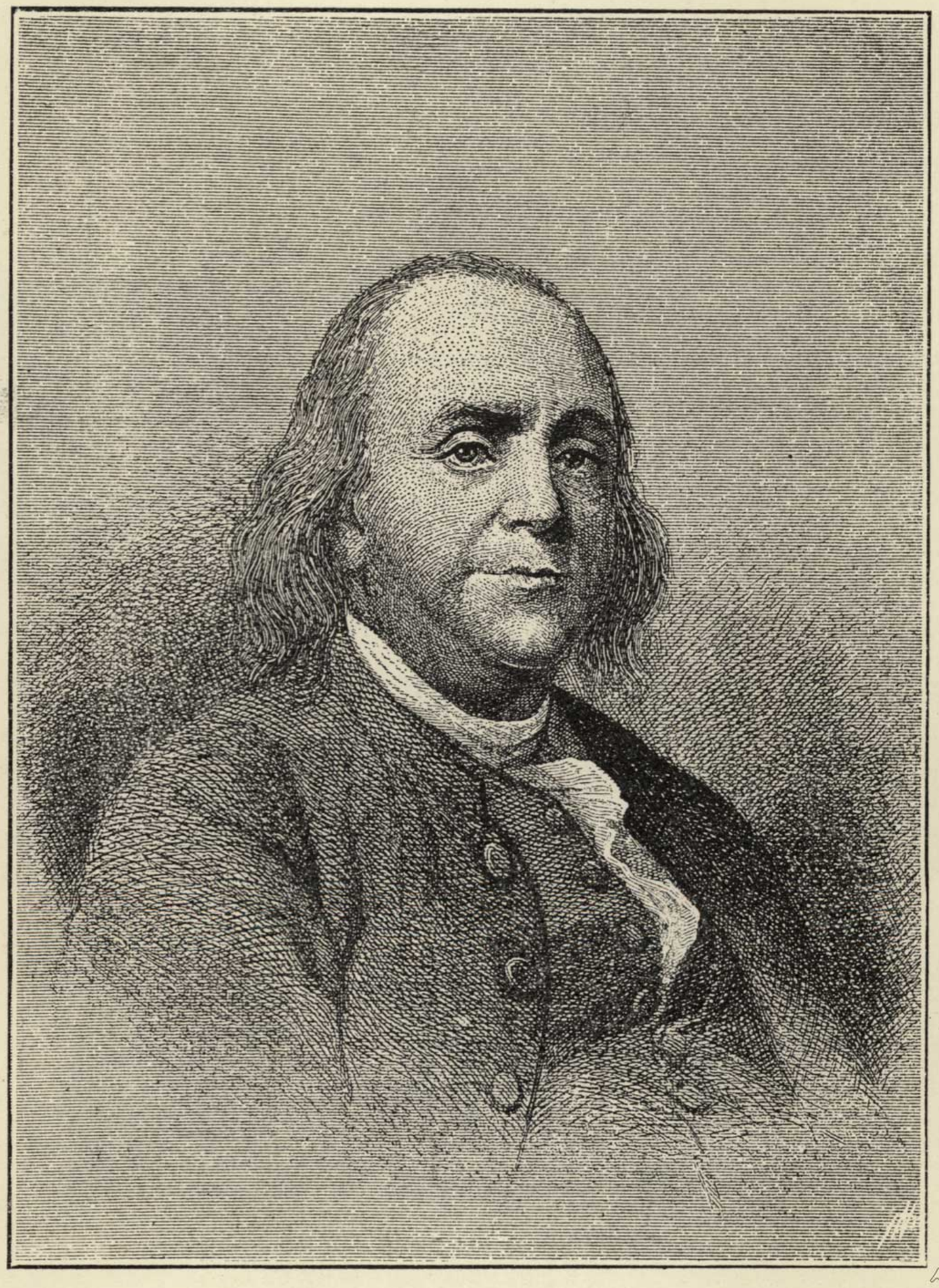
Форма крыши и вышина громоотвода.

Какъ было сказано (§ 280), молнія устремляется къ той точкѣ, въ которой напряженіе больше всего. Поэтому всегда нужно заботиться о томъ, чтобы наконечникъ громоотвода электризовался сильнѣе, чѣмъ всякая другая часть зданія. Это обыкновенно и бываетъ въ большинствѣ случаевъ безъ особыхъ приспособленій. Но когда въ зданіи имѣются большія массы металла (водопроводъ, водосточные желоба), то послѣднія должны быть соединены съ громоотводомъ и въ извѣстной мѣрѣ составлять его часть.

http://mathesis.ru

284. Лишь въ промежуткѣ между 1745 и 1760 годами у Франклина было время для болѣе серьезныхъ занятій естествознаніемъ. Позднѣе его слишкомъ отвлекала политическая и общественная дѣятельность. До Американской войны за освобожденіе онъ былъ въ Лондонѣ представителемъ Пенсильваніи и нѣсколькихъ другихъ штатовъ, а во время войны онъ жилъ въ Парижѣ, какъ представитель Соединенныхъ Штатовъ. Франклинъ принималъ важное участіе въ составленіи Декларації Незави-

Рис. 224



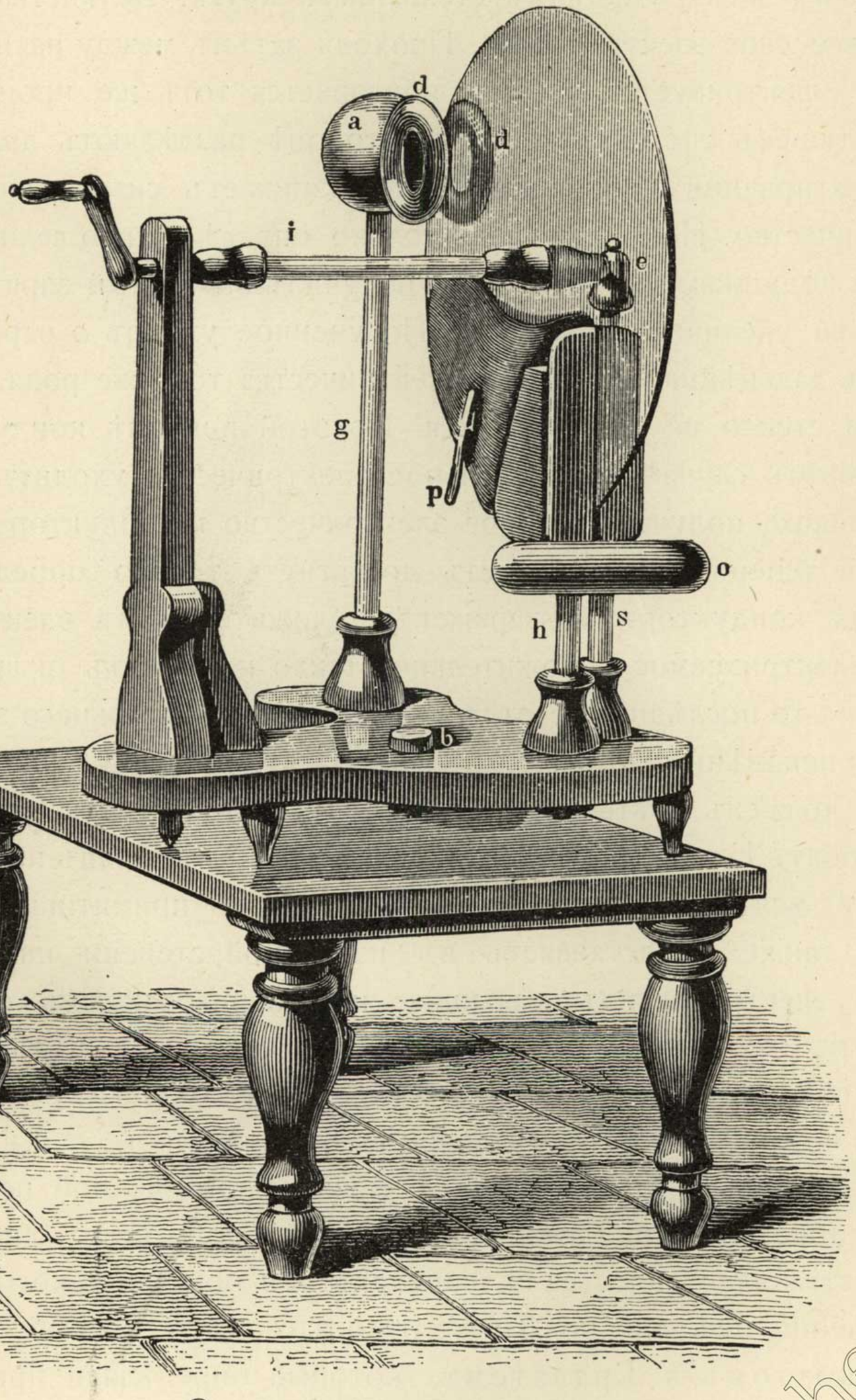
Бенджаминъ Франклинъ.

симости и конституціи Соединенныхъ Штатовъ. Но онъ былъ не только умнымъ и высокочтимымъ государственнымъ дѣятелемъ молодой самостоятельной Америки,— онъ былъ также во многихъ отношеніяхъ воспитателемъ американскаго народа. Онъ являлся центромъ духовныхъ стремленій въ кругахъ англійскихъ колонистовъ. Онъ учреждалъ библіотеки, хлопоталъ объ основаніи университета и при помощи многочисленныхъ статей, газеты и хорошаго календаря успѣшно стремился поднять нравственное, умственное и политическое образованіе своего народа. Въ его воспитательной дѣятельности особенную важность имѣло его собственное стремленіе къ

http://mathesis.ru

знанію и ученію. Онъ занимался исторіей, философіей, естествознаніемъ и соціологіей, превосходно умѣя передавать другимъ результаты своего изученія. Европейскіе ученые съ большимъ интересомъ читали его научныя статьи, написанныя доступнымъ языкомъ. Франклинъ былъ превосходный „общедоступный“ писатель, умѣвшій писать основательно и глубоко и въ то же время понятно для всѣхъ. Франклинъ былъ прекраснымъ гражданиномъ, одушевленнымъ жаждою дѣятельности и непоколебимой вѣрой въ торжество справедливости.—Когда онъ явился въ Парижъ, его стали тамъ

Рис. 225



Электрическая машина

боготворить, утонченное парижское общество находило въ немъ воплощеніе идеальнаго естественнаго человѣка Руссо.—Его послѣдними общественно-политическими актами были основаніе общества о тюрьмахъ (1787) и его предложеніе Конгрессу 1790 года, внесенное имъ за нѣсколько мѣсяцевъ до смерти, объ уничтоженіи работорговли и рабства.

285. Теперь мы можемъ дать болѣе полное описаніе обыкновенной электри-

http://mathesis.ru

ческой машины. Кругъ, приводимый въ движеніе рукояткой, обыкновенно дѣлается изъ стекла и, проходя сквозь приспособленіе для натиранія, электризуется положительно. Подушки, а съ ними и кондукторъ *o* (рис. 225), электризуются, слѣдовательно, отрицательно. Натираемая часть стекла движется въ чехлѣ изъ шелка къ приспособленію для собиранія электричества *d*. Когда положительно наэлектризованное стекло подходитъ къ остріямъ этого приспособленія, то электричество въ нихъ и въ кондукторѣ *a* раздѣляется. Острія наэлектризовываются отрицательно, а кондукторъ положительно. Отрицательное электричество уходитъ по остріямъ и соединяется съ положительнымъ электричествомъ стекляннаго круга. Вслѣдствіе этого послѣдній теряетъ почти все свое электричество. Проходя затѣмъ между натирающими подушками, кругъ снова электризуется и снова повторяется тотъ же процессъ. Дѣйствіе натирающихъ подушекъ состоитъ въ томъ, что онѣ раздѣляютъ два рода электричества. Въ самихъ натирающихъ поверхностяхъ возникаетъ сила, вызывающая своимъ вліяніемъ электричество. Но она имѣетъ только опредѣленную величину. Поэтому, когда связанный съ подушками кондукторъ *o* получилъ извѣстный зарядъ, то дальнѣйшее натираніе уже не увеличиваетъ заряда. Полученное уже въ *o* отрицательное электричество мѣшаетъ дальнѣйшему притоку электричества того же рода. Натираніе больше не дѣйствуетъ и стекло не электризуется. По этой причинѣ кондукторъ *o* отводятъ къ землѣ. Въ такомъ случаѣ отрицательное электричество уходитъ въ землю, на натирающихъ подушкахъ получается новое электричество и кондукторъ *a* продолжаетъ заряжаться. Но и теперь зарядъ можетъ достигнуть только опредѣленной величины. А именно, когда кондукторъ *a* заряженъ положительнымъ электричествомъ уже такъ сильно, что электризуемое положительно стекло не можетъ оказывать новаго дѣйствія на кондукторъ, то послѣдній не отдаетъ больше отрицательнаго электричества и его зарядъ остается неизмѣннымъ. Для того чтобы электричество удерживалось на кондукторѣ, послѣдній не долженъ имѣть угловъ и реберъ—всѣ его части должны быть закруглены.

286. Аббатъ Нолле первый попытался измѣрить зарядъ наэлектризованнаго тѣла. Электрическій маятникъ, которымъ, въ нѣсколько примитивной формѣ, пользовался еще Дюфэ, также представляетъ въ извѣстной степени измѣрительный приборъ. Именно, два электрическихъ маятника, наэлектризованныхъ соприкосновеніемъ съ однимъ и тѣмъ же тѣломъ, могутъ служить измѣрительнымъ приборомъ. Дѣйствительно, при сближеніи эти два шарика взаимно отталкиваются и по величинѣ ихъ расхожденія можно судить о величинѣ электрической силы шариковъ. Поэтому Нолле при помощи дуги круга съ дѣленіями, помѣщенной позади маятниковъ, мѣрялъ уголъ, образованный маятниками другъ съ другомъ. Однако, получить точную мѣру количества электричества на шарикахъ при помощи такого рода приспособленія было совершенно невозможно. То же относится и къ способу, предложенному Джономъ Элликоттомъ и Гралатомъ, которые опредѣляли притяженіе, оказываемое наэлектризованнымъ тѣломъ на чашку вѣсовъ.

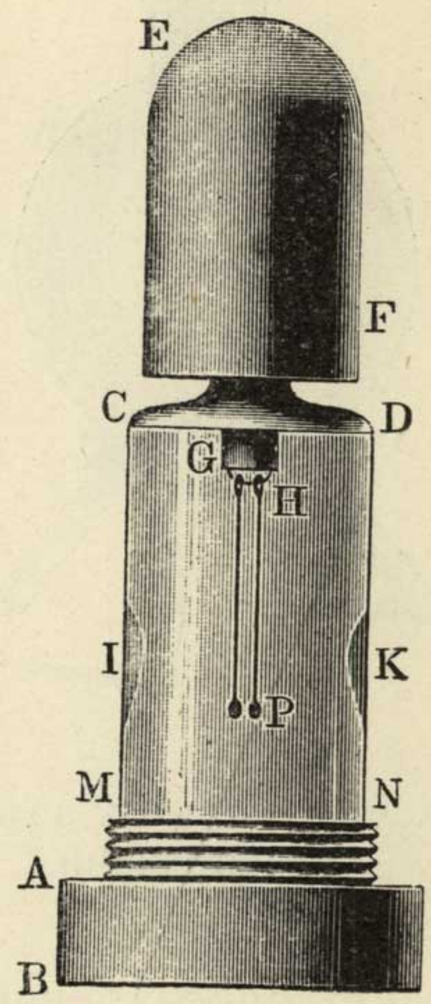
Джонъ Кантонъ и особенно его товарищъ по Royal Society, Тиберіо Кавалло (1749—1809), обратили двойной электрическій маятникъ въ болѣе тонкій приборъ. Въ электроскопѣ Кавалло (рис. 226) маятники помѣщены въ стеклянномъ сосудѣ, защищающемъ ихъ отъ колебаній воздуха. Льняныя нити маятниковъ укрѣплены на металлическомъ стерженькѣ, при помощи сургуча вдѣланномъ въ горлышко стеклянной бутылки и соединяющемся съ мѣднымъ колпачкомъ *EF*. Если приблизить

http://mathesis.ru

къ этому колпачку наэлектризованное тѣло, то оно своимъ вліяніемъ возбуждаетъ въ приборѣ электричество. Шарики маятника получаютъ одноименное электричество и отталкиваются другъ отъ друга. Когда наэлектризованное тѣло удаляютъ, шарики снова опадаютъ.

Электроскопъ можно „зарядить“ и такъ, чтобы онъ указывалъ родъ электричества, какъ простой электрическій маятникъ (§ 264). Если, напримѣръ, къ колпачку электроскопа приблизить положительно наэлектризованное тѣло, то отрицательное электричество удержится въ колпачкѣ, а положительное оттолкнется въ шарики. Если теперь прикоснуться пальцемъ къ колпачку, то положительное электричество будетъ отведено въ землю и шарики опадутъ. Но если затѣмъ удалить наэлектризованное тѣло, то отрицательное электричество уже не будетъ удерживаться въ колпачкѣ, а перейдетъ и на шарики. Такимъ образомъ, послѣдніе разойдутся, имѣя отрицательный зарядъ. Электроскопъ зарядился чрезъ вліяніе (ср. § 274). Если теперь приблизить къ электроскопу положительно заряженное тѣло, то расхожденіе шариковъ станетъ меньше, а если приблизить отрицательное, то оно станетъ больше.—Если шарикамъ сообщатъ такой сильный зарядъ, что они, расходясь, коснутся стеклянныхъ стѣнокъ, то послѣднія также получатъ электричество, что можетъ быть помѣхой при дальнѣйшихъ опытахъ съ электроскопомъ. Поэтому на тѣхъ мѣстахъ стеклянныхъ стѣнокъ сосуда, которыхъ могутъ коснуться шарики, прикрѣпляютъ два кусочка фольги *I* и *K*, соединяющихся съ подставкой стекляннаго сосуда. Теперь при соприкосновеніи шариковъ съ фольгой электричество мгновенно будетъ отводиться въ подставку. Въ то же время кусочки фольги дѣлаютъ этотъ приборъ болѣе чувствительнымъ. Именно, полоски фольги электризуются вліяніемъ электричества шариковъ, вслѣдствіе чего между шариками и полосками возникаетъ притяженіе.

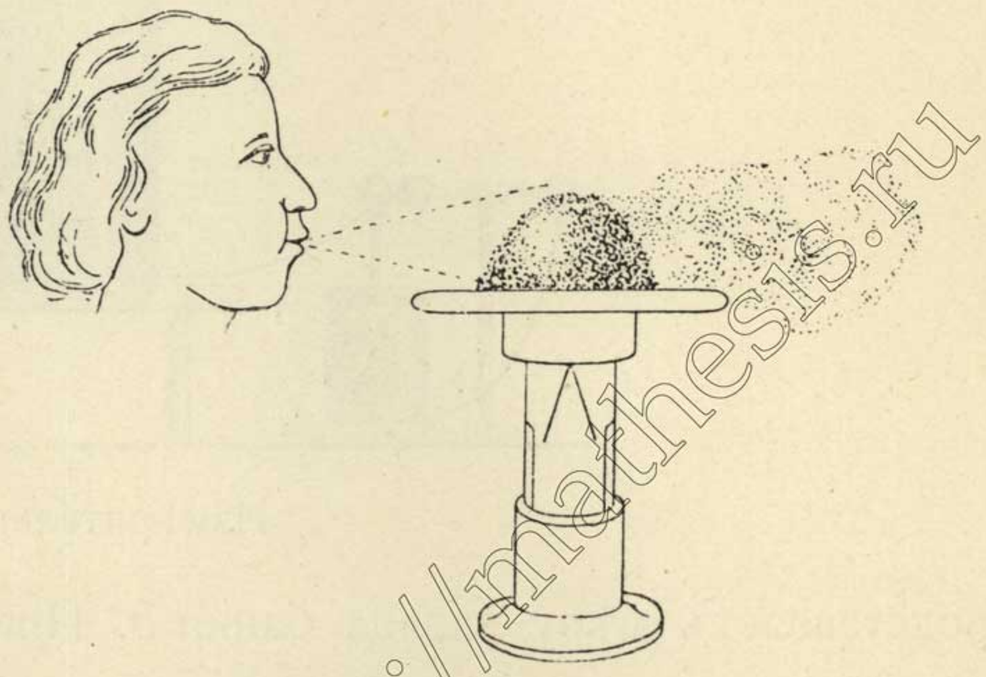
Рис. 226



Электроскопъ Кавалло.

Два года спустя, въ 1781 году, Вольта опубликовалъ описаніе своего электрометра, въ которомъ шарики маятника были замѣнены двумя соломинками. Приборъ Вольты былъ чрезвычайно чувствителенъ и для одного и того же заряда всегда давалъ одинаковое расхожденіе соломинокъ. Наконецъ, въ 1786 году англійскій священникъ и физикъ Абрагамъ Беннетъ (1750—1799) замѣнилъ соломинки парой тонкихъ золотыхъ листочковъ. Рисунокъ 227 воспроизводитъ одинъ изъ рисунковъ Беннета, иллюстрирующихъ чувствительность его прибора. Мѣдный колпачекъ инструмента Кавалло здѣсь замѣненъ мѣдной пластинкой. На послѣдней лежала кучка мѣла въ порошкѣ. Когда Беннетъ дулъ на этотъ порошокъ, порошокъ приходилъ въ движеніе, отъ тренія

Рис. 227



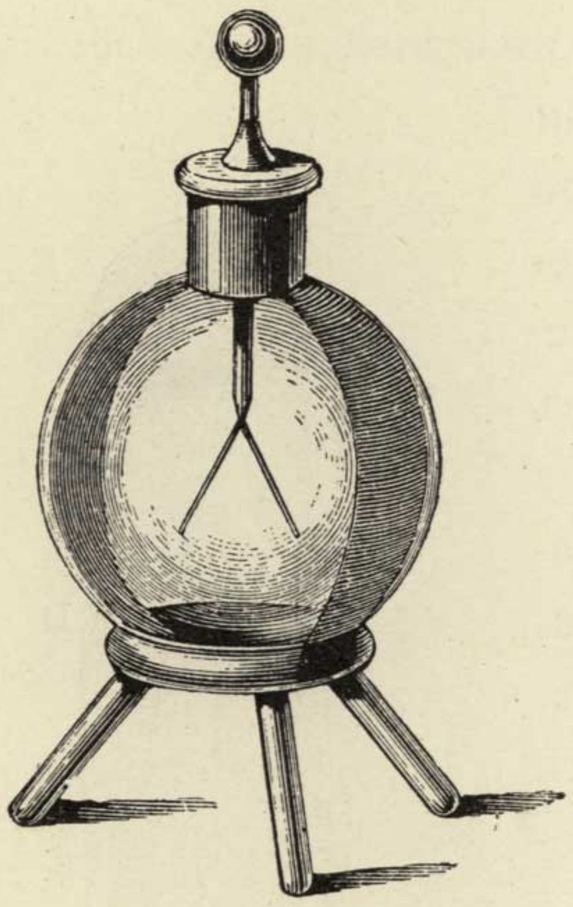
Электроскопъ Беннета.

http://mathesis.ru

его частицъ возникало электричество и золотые листочки расходились. Эти чувствительные приборы особенно часто употреблялись при наблюденіяхъ электрическаго состоянія атмосферы. Рис. 228 изображаетъ одну изъ многихъ формъ этого электроскопа, находящихся теперь въ употребленіи.

Къ измѣрительнымъ электрическимъ приборамъ, вошедшимъ въ употребленіе уже во второй половинѣ XVIII вѣка, принадлежитъ и измѣрительная банка Лэна.

Рис. 228



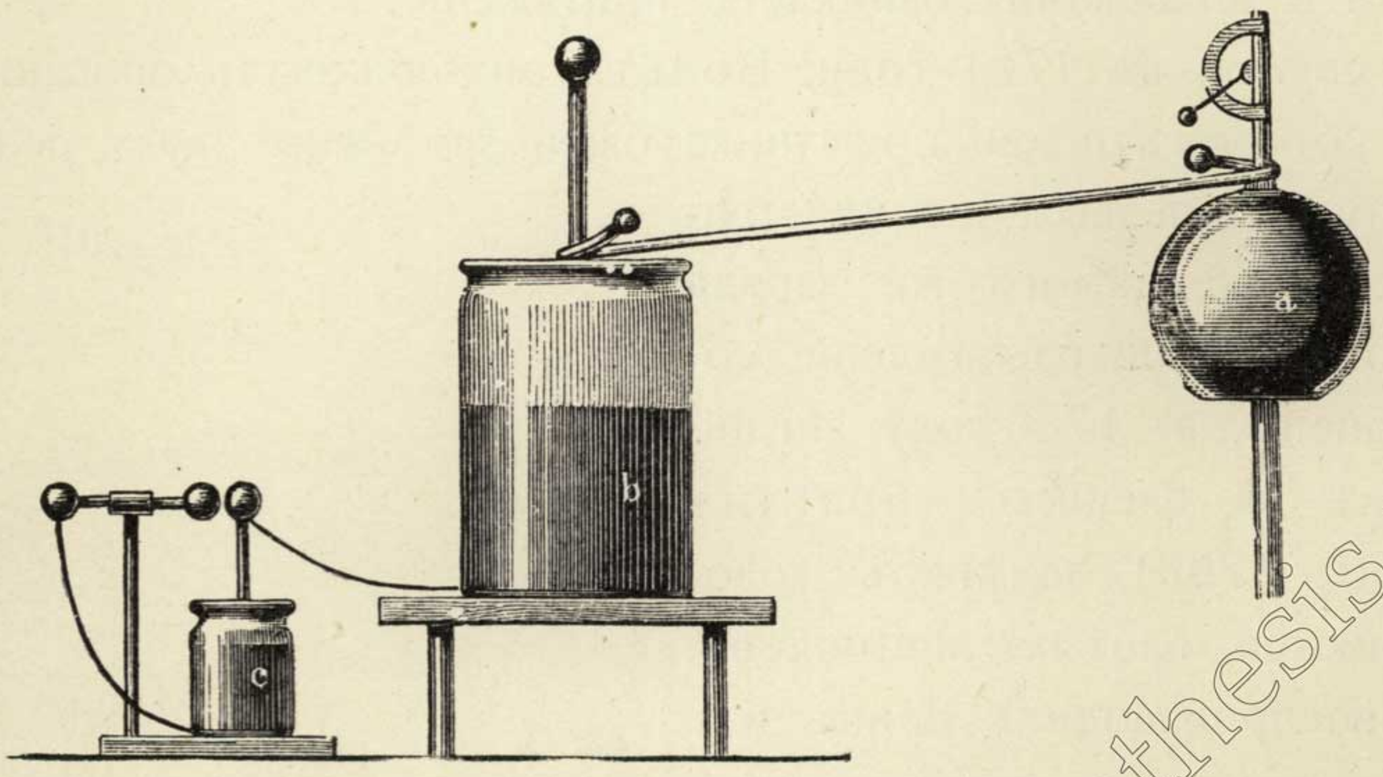
Электроскопъ съ золотыми листочками.

Тимоти Лэнъ (1734—1807), лондонскій аптекарь, напечаталъ въ 1767 году статью, въ которой описывалъ, какъ можно сравнить зарядъ одной лейденской банки съ зарядомъ другой.

Банка *b* (рис. 229) устанавливается на изоляторѣ и заряжается кондукторомъ *a* электрической машины. Внѣшняя обкладка этой банки при помощи металлической палочки соединяется съ головкой меньшей лейденской банки *c*, которая служила измѣрителемъ и внѣшняя обкладка которой не была изолирована. Отъ внѣшней обкладки измѣрительной банки идетъ проволока къ подвижной металлической палочкѣ съ шариками на концахъ; эту палочку можно передвигать такъ, чтобы одинъ изъ ея шариковъ больше или меньше приближался къ шарику измѣрительной банки. Напримѣръ, если отъ кондуктора къ банкѣ *b* идетъ положительное электричество, то положительное электричество внѣшней обкладки банки *b* оттал-

кивается въ измѣрительную банку и, когда послѣдняя получаетъ опредѣленный зарядъ, то между ея шарикомъ и передвижнымъ проскакиваетъ искра. Если продолжать заряжаніе банки *b*, то *c* снова зарядится и, когда зарядъ достигнетъ надлежащей величины, опять образуется искра. Число проскочившихъ искръ

Рис. 229



Измѣрительная банка Лэна.

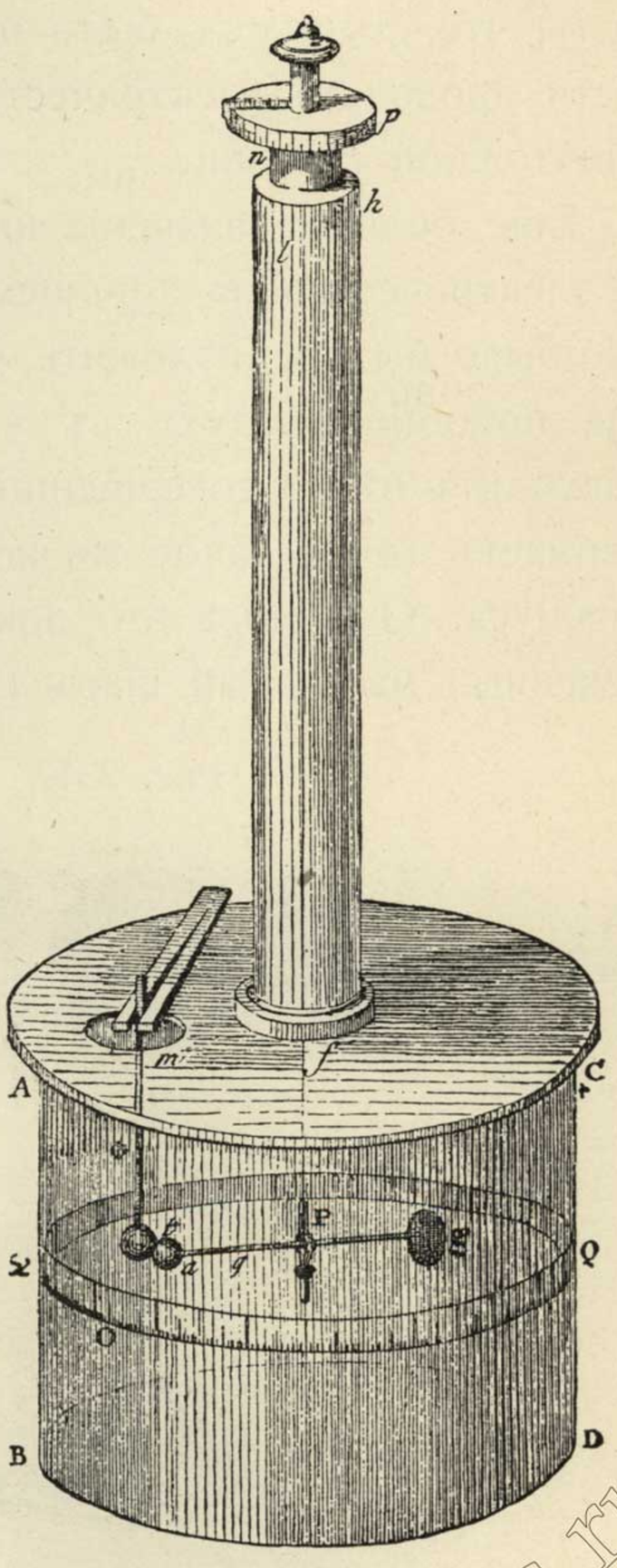
представляетъ мѣру заряда банки *b*. При помощи измѣрительной банки можно также опредѣлить зарядъ батареи лейденскихъ банокъ. Она даетъ, такимъ образомъ, возможность сравнивать количества электричества, которыя могутъ получать различныя лейденскія банки, дѣйствительную же величину заряда ею опредѣлить нельзя. Чѣмъ

http://mathesis.ru

больше разстояніе шарика измѣрительной банки отъ передвижного шарика, тѣмъ сильнѣе должна зарядиться измѣрительная банка для того, чтобы получилась искра.

287. Только изслѣдованія Кулона надъ электрическимъ притяженіемъ и отталкиваніемъ дали возможность производить электрическія измѣренія болѣе точно. Крутильные вѣсы Кулона были подробно описаны уже раньше (§§ 215 и 216) и потому рисунокъ 230, представляющій приборъ самого Кулона, не нуждается въ дальнѣйшихъ поясненіяхъ.—Палочка вѣсовъ сдѣлана изъ шеллака и виситъ на серебряной проволокѣ, величина сопротивленія крученію которой извѣстна. На одномъ концѣ палочки находится бузинный шарикъ *a*, на другомъ, для равновѣсія, бумажный кружокъ *g*, смоченный скипидаромъ. Этотъ кружокъ въ то же время долженъ служить для уменьшенія колебаній. Въ отверстіе *m* крышки широкаго цилиндра можетъ вставляться другая палочка изъ шеллака, также имѣющая на нижнемъ концѣ бузинный шарикъ *t* такой же величины, какъ и шарикъ *a*.

Рис. 230



Крутильные вѣсы Кулона.

При производствѣ опыта сначала устанавливаютъ горизонтальную палочку такъ, чтобы она указывала на нуль дѣленій круга при отсутствіи закручиванія проволоки. Затѣмъ Кулонъ сообщалъ шарику *t* электрическій зарядъ и опускалъ его въ цилиндръ такъ, чтобы онъ коснулся шарика *a*. Оба шарика заряжались теперь одинаково сильно и отталкивались другъ отъ друга. Въ одномъ изъ опытовъ, произведенныхъ Кулономъ, подвижный шарикъ оттолкнулся отъ неподвижнаго настолько, что разстояніе между ними по дугѣ составило 36^0 и, слѣдовательно, проволока закрутилась на 36^0. Для того чтобы уменьшить разстояніе шариковъ до 18^0, надо было повернуть головку прибора въ обратную сторону на 126^0. Въ этомъ положеніи серебряная проволока была, слѣдовательно, закручена на $126^0 + 18^0 = 144^0$, т. е. вчетверо больше 36^0. При закручиваніи головки на 567^0 угловое разстояніе между *a* и *t* составляло только $8^1/_2{}^0$. Теперь закручиваніе проволоки было равно $567^0 + 8^1/_2{}^0 =$ приблизительно 576^0, что равняется 16×36^0 или 4×144^0. Отсюда слѣдуетъ, что сила, съ которой отталкиваются два шарика, одинаково наэлектризованныхъ, убываетъ въ томъ же отношеніи, въ какомъ возрастаетъ квадратъ разстоянія. На двойномъ разстояніи отталкиваніе становится вчетверо меньше и т. д.—При выполненіи этихъ опытовъ нужно принимать различныя предосторожности; особенно нужно заботиться о томъ, чтобы воздухъ въ цилиндрѣ крутильныхъ вѣсовъ былъ совершенно сухъ. Этого можно достигнуть, поставивъ въ цилиндръ сосудъ съ сѣрной кислотой.

Подобнымъ же образомъ Кулонъ показалъ, что притяженіе между двумя ша-

http://mathesis.ru

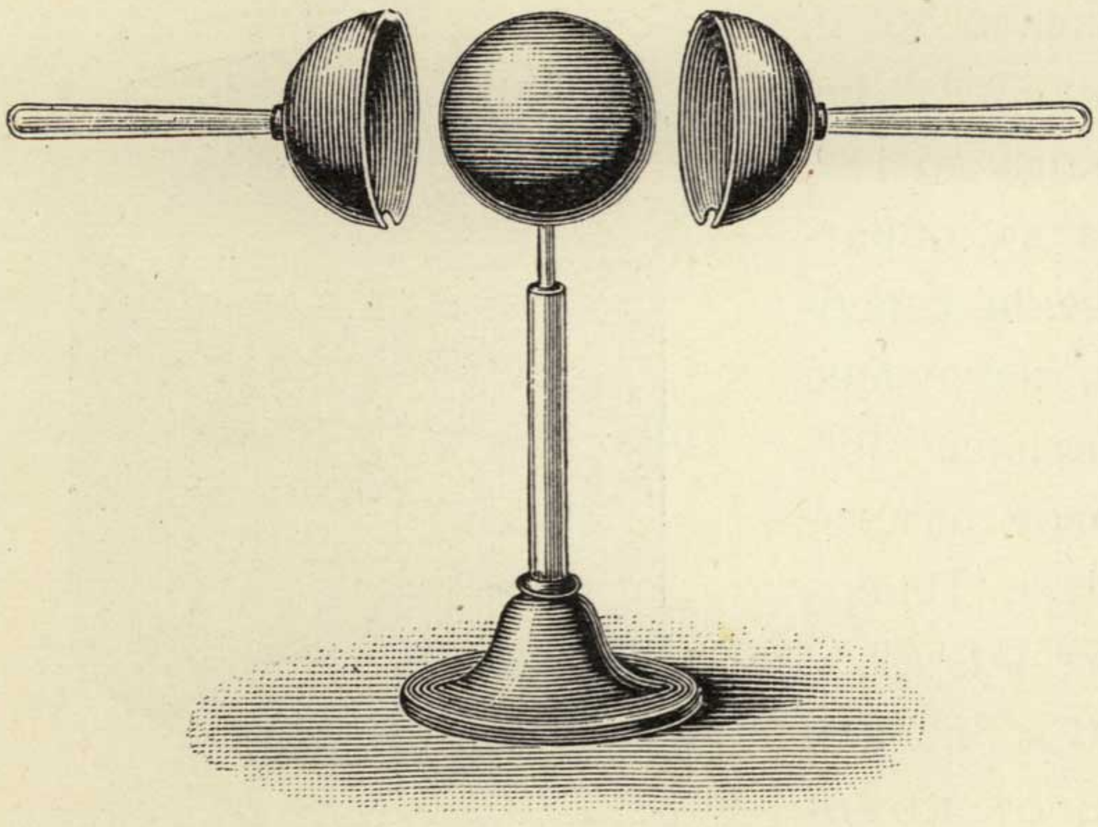
риками, заряженными различными электричествами, слѣдуетъ тому же самому закону (ср. § 216).

Наконецъ, Кулонъ показалъ, что электрическое притяженіе или отталкиваніе возрастаетъ съ величиною заряда бузинныхъ шариковъ. Если каждый изъ двухъ шариковъ получалъ только половинный зарядъ, то притяженіе или отталкиваніе становилось вчетверо меньше. Если одинъ шарикъ получаетъ половину первоначальнаго заряда, а другой четверть его, то взаимодѣйствіе ихъ будетъ въ $2 \times 4 = 8$ разъ меньше.—Кулонъ получалъ различные заряды тѣмъ, что касался заряженнаго шарика одинъ или нѣсколько разъ ненаэлектризованнымъ шарикомъ такой же величины.

288. Эти тонкія измѣренія побудили Кулона начать наблюденія надъ тѣмъ, какъ быстро исчезаетъ электричество въ болѣе или менѣе влажномъ воздухѣ и какое количество его теряется благодаря проводимости такъ называемыхъ изоляторовъ. Онъ нашелъ, что Эпинусъ былъ правъ, утверждая, что всѣ такъ называемые изоляторы отчасти проводятъ электричество, хотя бы въ сравненіи съ настоящими проводниками въ ничтожной степени.

Еще большее значеніе имѣли изслѣдованія Кулона о томъ, какъ распредѣляется электричество на хорошемъ проводникѣ, напримѣръ, на металлическомъ шарѣ. Легко было бы предположить, что электричество распредѣляется равномѣрно по всему шару, подобно воздуху въ закрытомъ пространствѣ. Однако, съ электричествомъ происходитъ нѣчто совершенно иное. Кулонъ нашелъ, что полый металлическій шаръ принимаетъ точно такое же количество электричества, какъ и массивный шаръ того же радіуса. Онъ могъ это доказать при помощи своихъ крутильныхъ вѣсовъ. Когда заряженный массивный шаръ (изолированный) приводили въ соприкосновеніе съ полымъ шаромъ, то на послѣдній переходила половина заряда. Отсюда слѣдуетъ, что электричество скопляется на поверхности шара. Нетрудно также представить себѣ, почему внутри тѣла электричества не можетъ быть. Въ самомъ дѣлѣ, еслибы тамъ было два небольшихъ количества электричества, то они отталкивались бы другъ отъ друга и, такъ какъ хорошій проводникъ не оказываетъ сопротивленія движенію электричества, то эти электрическія массы должны удаляться другъ отъ друга, какъ можно дальше, т. е. должны переходить на поверхность. Онѣ не могли бы уйти дальше, такъ какъ воздухъ представляетъ собою хорошій изоляторъ, мѣшающій движенію электричества. Если хорошій проводникъ имѣетъ форму шара, то электричество распредѣляется по его поверхности равномѣрно.

Рис. 231



Опытъ Кэвендиша.

Кэвендишъ (I, § 306) первый доказалъ, что электричество въ хорошемъ проводникѣ находится только на поверхности. Его опытъ поясняется рисункомъ 231.

http://mathesis.ru

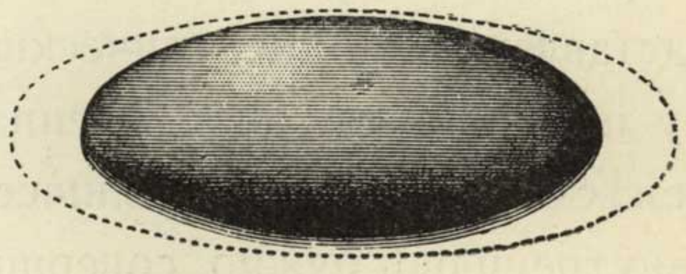
Изолированный латунный шаръ былъ заряженъ электричествомъ и затѣмъ покрытъ двумя половинами полаго шара. Когда послѣ того эти двѣ половины, снабженныя изолирующими ручками, удалялись, то обнаруживалось, что внутренній шаръ терялъ электричество, а полушарія наэлектризовывались.

Такимъ образомъ, если данное пространство окружено проводящей поверхностью и если заключающіяся въ немъ тѣла находятся въ соприкосновеніи съ его внѣшней поверхностью, то внутри этого пространства не можетъ быть электричества.—Позднѣе Фарадэй показалъ это слѣдующимъ образомъ. Онъ взялъ большой деревянный ящикъ (со сторонами въ 2 *м*) и покрылъ его внѣшнюю сторону фольгой. Затѣмъ онъ помѣстился въ этомъ ящикѣ съ чувствительнымъ электроскопомъ, послѣ чего обкладка изъ фольги была сильно заряжена. Внутри ящика не было замѣтно никакой электризаціи.

289. Какъ было сказано, на поверхности металлическаго шара электричество распредѣляется равномѣрно (если вблизи нѣтъ проводника, въ которомъ можетъ получиться электричество чрезъ вліяніе). Кулонъ изслѣдовалъ, какъ распредѣляется электричество на проводникахъ другой формы. При этихъ опытахъ онъ пользовался такъ называемой пробной пластинкой, т. е. маленькой металлической пластинкой, укрѣпленной на изолирующей ручкѣ. Чтобы опредѣлить „плотность“ (напряженность) электричества въ данномъ мѣстѣ проводника, онъ касался этого мѣста пробной пластинкой. Послѣдняя получала такое количество электричества, что приходила въ такое же электрическое состояніе, въ какомъ было тронутое мѣсто. Величину заряда пробной пластинки Кулонъ опредѣлялъ затѣмъ при помощи крутильныхъ вѣсовъ.

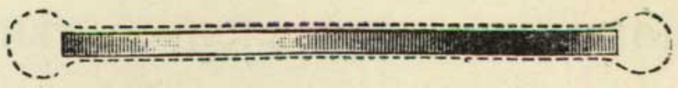
На эллипсоидѣ электричество имѣетъ наибольшую плотность на концахъ большой оси (рис. 232), на дискѣ у его краевъ (рис. 233), а на цилиндрѣ, заканчивающемся полушаріями, на этихъ послѣднихъ (рис. 234). Чѣмъ тоньше пластинка проводника, тѣмъ больше будетъ плотность электричества на ея краяхъ. Поэтому, если заряженный проводникъ имѣетъ острые ребра или концы, то плотность электричества на этихъ мѣстахъ будетъ особенно велика (ср. § 276).—Плотность электричества на проводникахъ опредѣленной формы можно вычислить математически. При этомъ исходной точкой служитъ законъ Кулона относительно отталкиванія одноименныхъ электричествъ. Такія вычисленія подтвердили результаты опытовъ Кулона.

Рис. 232



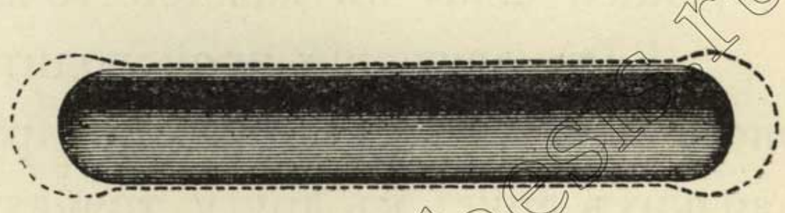
Заряженный эллипсоидъ.

Рис. 233



Заряженный дискъ.

Рис. 234



Заряженный цилиндръ.

290. Работы Кулона дали возможность говорить съ полной опредѣленностью и ясностью о „количествѣ электричества“ и мѣрять его опредѣленной единицей. Можно сказать, напримѣръ, что два маленькихъ шара (матеріальныя точки), одинаково сильно заряженныхъ однимъ и тѣмъ же родомъ электричества, содержатъ единицу количества электричества, когда они отталкиваются другъ отъ друга, находясь на разстояніи 1, съ силою равною 1.

Изъ Кулонова закона электрическаго отталкиванія и притяженія вытекаетъ, что

http://mathesis.ru

электричество, равномѣрно распредѣленное на поверхности шара, дѣйствуетъ на электрическую „точку“ внѣ шара совершенно такъ, какъ будто все это электричество было сосредоточено въ центрѣ шара. Это слѣдствіе можно доказать при помощи математическихъ выкладокъ, въ которыя мы не можемъ здѣсь входить, однако.

Электрическая сила заряженнаго шара дѣйствуетъ по всѣмъ направленіямъ. Пространство вокругъ шара, въ которомъ проявляется дѣйствіе его электрическаго заряда, называется электрическимъ полемъ этого шара. Строго говоря, это дѣйствіе простирается до безконечности, но такъ какъ оно очень быстро убываетъ съ возрастаніемъ разстоянія (§ 287), то уже на не очень большихъ разстояніяхъ отъ шара лежатъ точки, въ которыхъ дѣйствіе заряда шара незамѣтно. Если представить себѣ, что въ такой точкѣ находится единица положительнаго электричества и что шаръ имѣетъ извѣстный положительный зарядъ, то очевидно нужно было бы произвести совершенно опредѣленную работу для того, чтобы перемѣстить упомянутую единицу положительнаго электричества въ точку, лежащую ближе къ шару.

Работа, которую нужно произвести для того, чтобы перемѣстить единицу положительнаго электричества изъ любой точки электрическаго поля въ другую точку по направленію къ центру шара (также заряженнаго положительно), называется разностью потенціаловъ этихъ двухъ точекъ, а работа, которую нужно затратить на то, чтобы перемѣстить единицу электричества на поверхность шара изъ безконечно удаленной точки, носитъ названіе электрическаго потенціала шара.—По существу дѣла ясно, что во всѣхъ точкахъ шаровой поверхности, концентрической съ наэлектризованнымъ шаромъ, потенціалъ имѣетъ одну и ту же величину. Поверхность, на которой потенціалъ имѣетъ всюду одинаковое значеніе, носитъ названіе поверхности уровня. Такимъ образомъ, поверхности уровня для заряженнаго шара представляютъ концентрическія ему шаровыя поверхности. Чѣмъ ближе къ заряженному шару лежитъ опредѣленная поверхность уровня, тѣмъ больше потенціалъ. Чтобы перемѣстить извѣстное количество электричества съ наружной уровенной поверхности на внутреннюю, нужно совершить извѣстную работу. Напротивъ, движеніе электричества по самой поверхности уровня не требуетъ затраты работы. Въ самомъ дѣлѣ, электрическая сила дѣйствуетъ по направленію радіуса, т. е. нормально къ поверхности уровня, а для того, чтобы произвести движеніе по направленію, перпендикулярному къ направленію дѣйствующей силы, затраты работы не требуется.—Въ электрическомъ полѣ тѣлъ, имѣющихъ форму отличную отъ шарообразной, также существуютъ уровенныя поверхности, т. е. такія поверхности, по которымъ движеніе электричества происходитъ безъ затраты работы, такъ какъ направленіе дѣйствующей силы въ каждой точкѣ этой поверхности перпендикулярно къ послѣдней.

Если движеніе происходитъ не по одной и той же уровенной поверхности, то оно приводитъ къ точкѣ съ другимъ потенціаломъ. Разность потенціаловъ въ двухъ близкихъ другъ къ другу точкахъ (но не на одной и той же уровенной поверхности), раздѣленная на разстояніе между этими двумя точками, равна силѣ, дѣйствующей въ соотвѣтствующей точкѣ (по направленію линіи, соединяющей эти двѣ точки).—Въ этомъ легко убѣдиться, если припомнить, что разность потенціаловъ между двумя точками представляетъ работу, которую нужно затратить для того, чтобы перевести единицу количества электричества изъ одной точки въ другую. Такъ какъ работа равна произведенію силы на разстояніе, то здѣсь работа (т. е. разность потенціа-

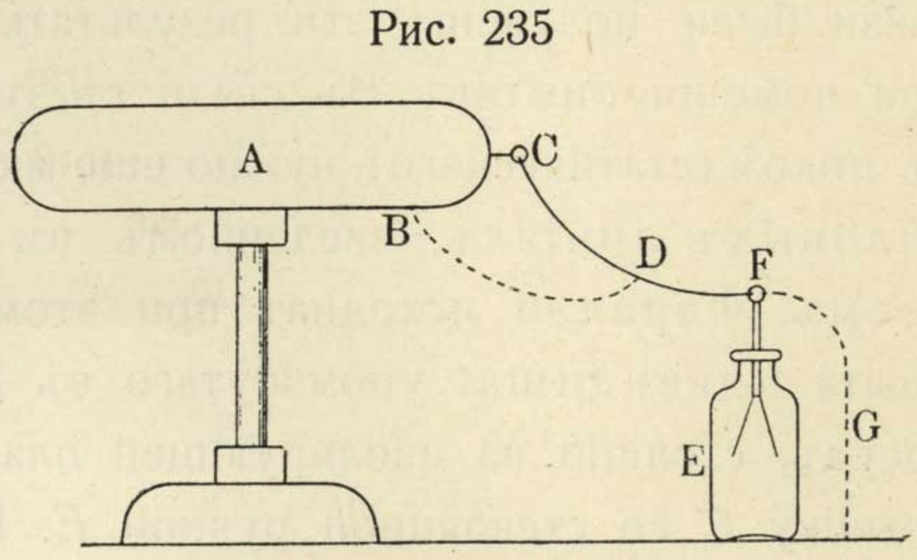
http://naturalis.ru

ловъ), раздѣленная на разстояніе, должна быть равна силѣ. Мы будемъ называть эту силу электрическимъ напряженіемъ.

291. Поверхность наэлектризованнаго проводника должна быть поверхностью уровня, если электричество на проводникѣ находится въ покоѣ. Въ самомъ дѣлѣ, въ этомъ случаѣ сила должна быть направлена перпендикулярно къ поверхности, такъ какъ въ противномъ случаѣ электричество двигалось бы по поверхности. Такимъ образомъ, на поверхности проводника потенціалъ долженъ быть вездѣ одинаковъ.—Если соединить два хорошихъ проводника металлической проволокой, то они получаютъ одинаковый потенціалъ, такъ какъ эти два проводника и металлическая проволока при соприкосновеніи образуютъ одинъ проводникъ. Если два проводника имѣли до соединенія одинъ и тотъ же потенціалъ, то электричество не будетъ переходить съ одного проводника на другой; если же они имѣли различный потенціалъ, то положительное электричество будетъ переходить съ проводника, имѣющаго бо̀льшій потенціалъ, на другой. Такимъ образомъ, разность потенціаловъ двухъ проводниковъ обнаружится тѣмъ, что при соединеніи ихъ посредствомъ металлической проволоки въ нихъ произойдетъ перемѣна электрическаго состоянія. Потенціалъ наэлектризованнаго тѣла есть разность между потенціаломъ этого тѣла и потенціаломъ земли, т. е. такъ называемаго неэлектрическаго тѣла.

Пусть A (рис. 235) представляетъ изолированное тѣло, которое имѣетъ опредѣленный потенціалъ. Его можно измѣрить при помощи электроскопа E. Прежде всего нужно, чтобы E имѣлъ тотъ же потенціалъ, какъ и земля, для чего электроскопъ соединяютъ съ землею при помощи проволоки G. Затѣмъ G удаляютъ и проводникъ A соединяется съ электроскопомъ при помощи проводника CDF. Листочки электроскопа расходятся тѣмъ больше, чѣмъ выше потенціалъ A. Проводникъ A во всѣхъ точкахъ своей поверхности имѣетъ тотъ же самый потенціалъ, такъ что расхожденіе листочковъ не мѣняется, если къ проводнику CDF прибавить отвѣтвленіе BD.—Другое наэлектризованное тѣло, которое даетъ такое же расхожденіе листочковъ электроскопа, имѣетъ очевидно такой же потенціалъ, какъ и A. Чтобы рѣшить, положителенъ или отрицателенъ потенціалъ A, причемъ за нуль принимается потенціалъ земли, нужно только узнать, какого рода электричествомъ заряженъ соединенный съ A электроскопъ.

Рис. 235



Измѣреніе потенціала.

292. Два проводника, соединенныхъ металлической проволокой, можно сравнить съ двумя сообщающимися сосудами. Въ послѣднихъ жидкость стоитъ на одной и той же высотѣ. На соединенныхъ проводникахъ „потенціалъ одинаково высокъ“. Но два сообщающихся сосуда не содержатъ непремѣнно одинаковаго количества жидкости: одна трубка можетъ быть широкой, другая узкой. Для того чтобы поднять уровень воды на одинъ футъ, въ одну трубку можетъ потребоваться, пожалуй, и во 100 разъ больше воды, чѣмъ въ другую. То же самое можно сказать и о двухъ проводникахъ съ одинаковымъ потенціаломъ. Чтобы они были заряжены одинаково, количества электричества не должны быть одинаковы. Количество электричества, которое нужно сообщить проводнику для того, чтобы его потенціалъ достигъ извѣстной

http://mathesis.ru

величины, въ сильной степени зависитъ отъ формы проводника. Чтобы достигнуть извѣстнаго потенціала, большой шаръ долженъ получить больше электричества, чѣмъ малый. Если радіусъ увеличивается вдвое, то вдвое больше долженъ быть и зарядъ для того, чтобы оба шара были заряжены до одного и того же потенціала. Если форма проводника неправильна, то эти соотношенія становятся сложнѣе. Но при всѣхъ условіяхъ потенціалъ въ одномъ и томъ же проводникѣ удваивается, если удваивается зарядъ.

Подъ электрической ёмкостью проводника разумѣютъ то количество электричества, которое нужно сообщить (изолированному) проводнику, чтобы его потенціалъ сталъ равнымъ 1. Потенціаломъ 1 обладаетъ, напримѣръ, шаръ радіуса 1, содержащій количество электричества, равное 1 (ср. § 290). Если извѣстны ёмкость и потенціалъ проводника, то легко вычислить и его зарядъ, такъ какъ послѣдній равенъ произведенію ёмкости на потенціалъ.

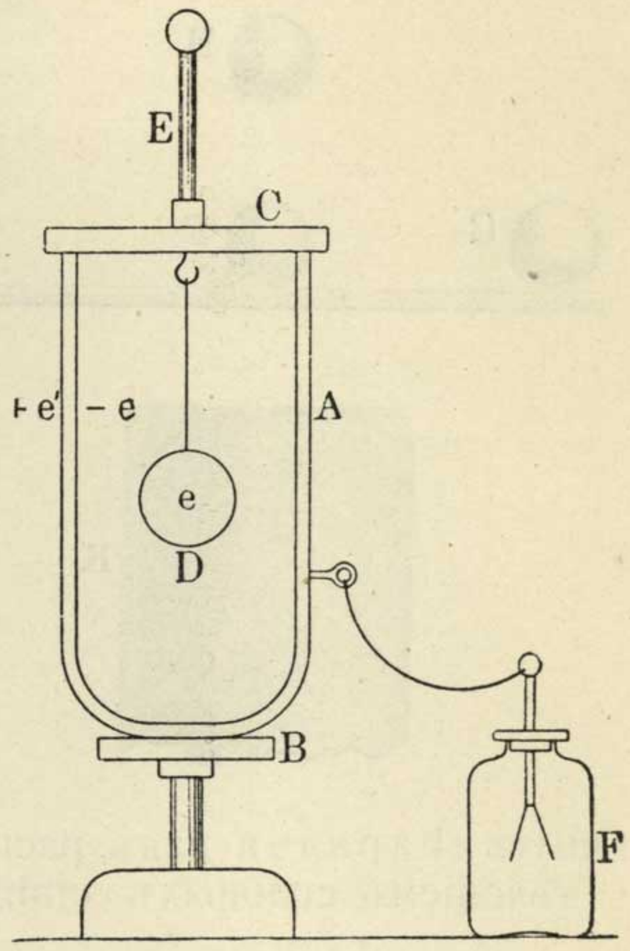
Но ёмкость зависитъ не исключительно отъ самого проводника, а также и отъ среды, въ которой онъ находится. Если по сосѣдству отъ него находятся наэлектризованныя тѣла, то ихъ вліяніе будетъ измѣнять ёмкость проводника. Когда говорятъ о ёмкости, то предполагаютъ, что всѣ сосѣднія тѣла соединены съ землей. Потенціалъ земли всегда равенъ нулю, такъ какъ ея ёмкость безконечно велика.

293. Въ послѣднемъ параграфѣ содержатся соображенія, въ основѣ которыхъ лежитъ законъ Кулона о дѣйствіи электрическихъ силъ на разстояніи. Недостатокъ мѣста не позволяетъ намъ остановиться подробнѣе на томъ, кѣмъ и въ какой связи были получены эти результаты и какимъ образомъ ихъ можно подтвердить при помощи опытовъ. Въ связи съ этими соображеніями относительно электричества въ покоѣ (статическаго), нужно еще вкратцѣ упомянуть о понятіи объ электрическихъ силовыхъ линіяхъ, введенномъ въ ученіе объ электричествѣ Майкелемъ Фарадэемъ. Фарадэй исходилъ при этомъ изъ опыта, представляющаго видоизмѣненіе опыта Кэвендиша, упомянутаго въ § 288. *A* (рис. 236) представляетъ металлическій сосудъ, стоящій на изолирующей пластинкѣ *B*. Этотъ сосудъ имѣетъ металлическую крышку *C* со стеклянной ручкой *E*. Къ крышкѣ, при помощи шелковой нитки, прикрѣпленъ металлическій проводникъ *D*. Фарадэй сообщалъ шару *D* электрическій зарядъ $+e$ и затѣмъ опускалъ его въ сосудъ. Зарядъ *D* своимъ вліяніемъ вызывалъ электричество въ *A*. Внутренняя сторона сосуда наэлектризовывалась отрицательно, а внѣшняя положительно. Такимъ образомъ, электроскопъ *F* получалъ положительное электричество, отчего его листочки расходились. Затѣмъ, коснувшись *A*, Фарадэй отводилъ электричество въ землю, такъ что положительное электричество исчезало и листочки электроскопа опадали. Отрицательное электричество *A* было связано положительнымъ электричествомъ *D* и потому не дѣйствовало на электроскопъ. Затѣмъ Фарадэй соединялъ *A* и *D*, но несмотря на это листочки электроскопа не расходились. Это доказываетъ, что количество отрицательнаго электричества, содержавшагося на *A*, было такъ же велико, какъ и количество положительнаго электричества на *D*. Еслибы *D* имѣло больше положительнаго электричества, чѣмъ *A* отрицательнаго, то листочки электроскопа должны были бы разойтись подъ дѣйствіемъ положительнаго электричества. Значитъ, если тѣло, производящее электризацію чрезъ вліяніе, со всѣхъ сторонъ окружено проводникомъ, въ которомъ возникаетъ электричество чрезъ вліяніе, то количество электричества, получившееся отъ этого вліянія, будетъ равно количеству электричества, вызывавшему это вліяніе.

http://mathesis.ru

Пусть A (рис. 237) будетъ проводникъ съ зарядомъ $+e$ и пусть этотъ проводникъ будетъ окруженъ металлической оболочкой B. Въ такомъ случаѣ на внутренней сторонѣ B будетъ находиться электрическій зарядъ $-e$. Въ промежуткѣ между A и B дѣйствуютъ электрическія силы и при томъ въ направленіи отъ A къ B, такъ какъ, еслибы въ этомъ пространствѣ находилось количество электричества $+1$, то оно очевидно должно было бы перемѣщаться отъ A къ B. Путь, по которому двигалось бы количество электричества $+1$ изъ какой-нибудь точки на A по направленію къ B, даетъ силовую линію отъ этой точки къ B. Число силовыхъ линій опредѣляется слѣдующимъ правиломъ: пусть зарядъ A будетъ равенъ, напримѣръ, $+15$ (т. е. $+e = +15$). Поверхность A дѣлится затѣмъ на пятнадцать частей, изъ коихъ каждая содержитъ зарядъ $+1$. Отъ каждой изъ этихъ частей по направленію къ B идетъ силовая линія и конецъ этой силовой линіи на B имѣетъ зарядъ -1. Такимъ образомъ, общій зарядъ B равенъ -15. Конечно, на самомъ дѣлѣ зарядъ B распредѣленъ по всей внутренней поверхности B. Чѣмъ сильнѣе „электрическое поле“, тѣмъ больше силовыхъ линій оно содержитъ. Согласно взгляду Фарадэя каждое наэлектризованное тѣло соединено силовыми линіями съ такимъ же по величинѣ зарядомъ противоположнаго электричества.

Рис. 236



Опытъ Фарадэя.

Силовыя линіи внутри какого-нибудь тѣла могутъ существовать только въ томъ случаѣ, если это тѣло представляетъ дурной проводникъ. Если электричество находится въ покоѣ, то внутри хорошихъ проводниковъ нѣтъ электрической силы и потому въ нихъ не можетъ быть силовыхъ линій. Отъ заряженнаго наэлектризованнаго шара (рис. 238) силовыя линіи идутъ во всѣ стороны, если вблизи нѣтъ проводниковъ. Если же помѣстить въ электрическомъ полѣ шара A проводникъ B, то

Рис. 237

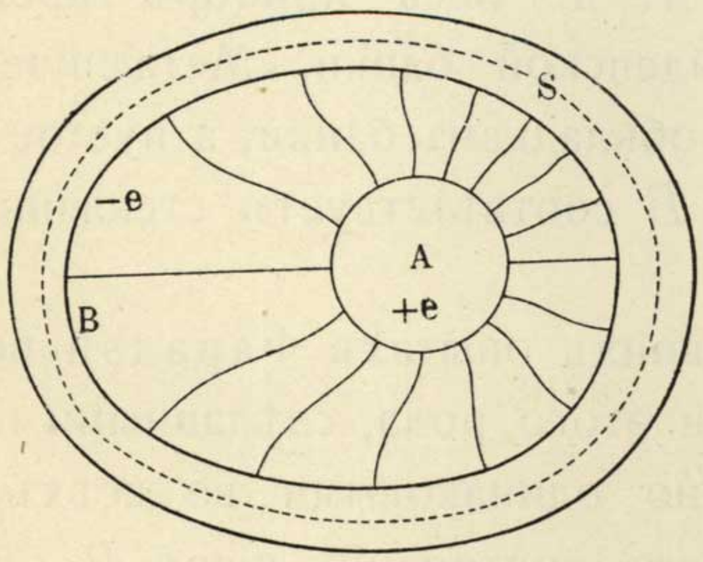
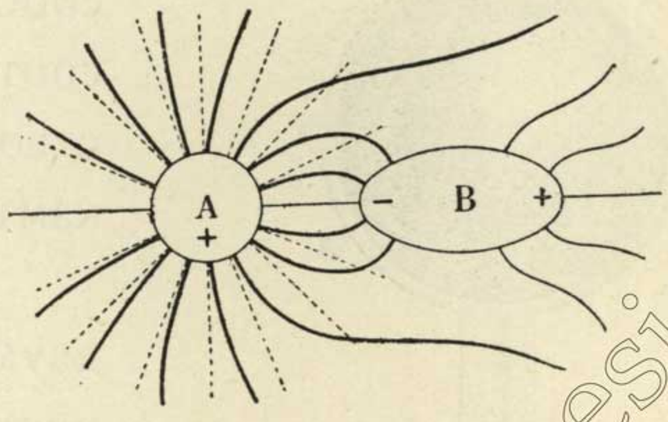


Рис. 238



Силовыя линіи.

часть силовыхъ линій загибается по направленію къ проводнику B, который самъ электризуется и становится исходной точкой новыхъ силовыхъ линій.

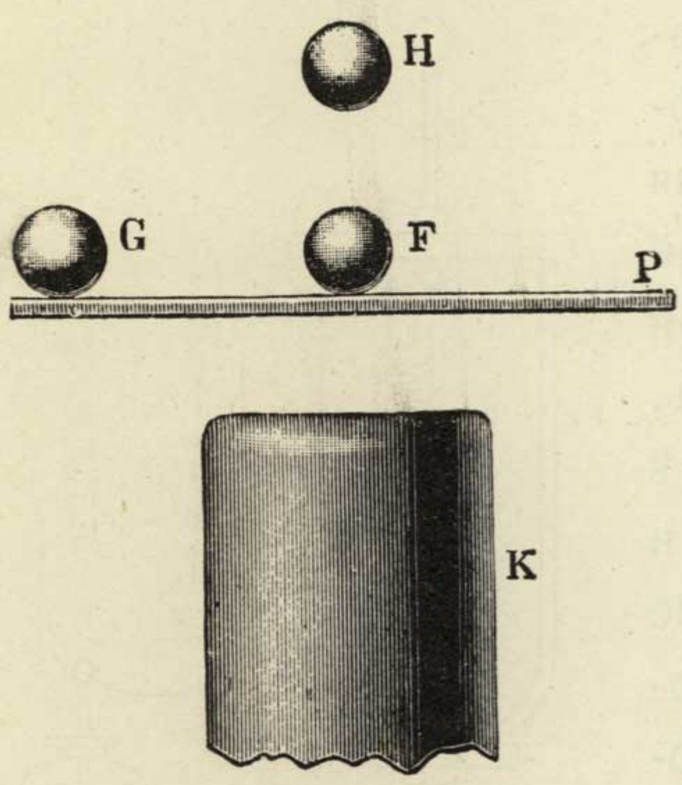
294. При помощи остроумно задуманныхъ опытовъ Фарадэй показалъ, что электрическія силы дѣйствуютъ съ различной напряженностью сквозь различные изоляторы, что предполагали уже Франклинъ (§ 273) и другіе. Эпинусъ разсматри-

http://mathesis.ru

валъ электричество чрезъ вліяніе исключительно, какъ дѣйствіе на разстояніи, независимое отъ вещества, наполняющаго пространство, черезъ которое дѣйствуетъ электрическая сила. Фарадэй же, напротивъ, принималъ, что дѣйствующая чрезъ вліяніе электрическая сила вліяетъ на молекулы именно этого промежуточнаго вещества.

Прежде всего Фарадэй показалъ, что дѣйствующая своимъ вліяніемъ электрическая сила не дѣйствуетъ сквозь хорошіе проводники. Надъ натертой палочкой сургуча K (рис. 239) помѣщается металлическая пластинка P, отведенная къ землѣ.

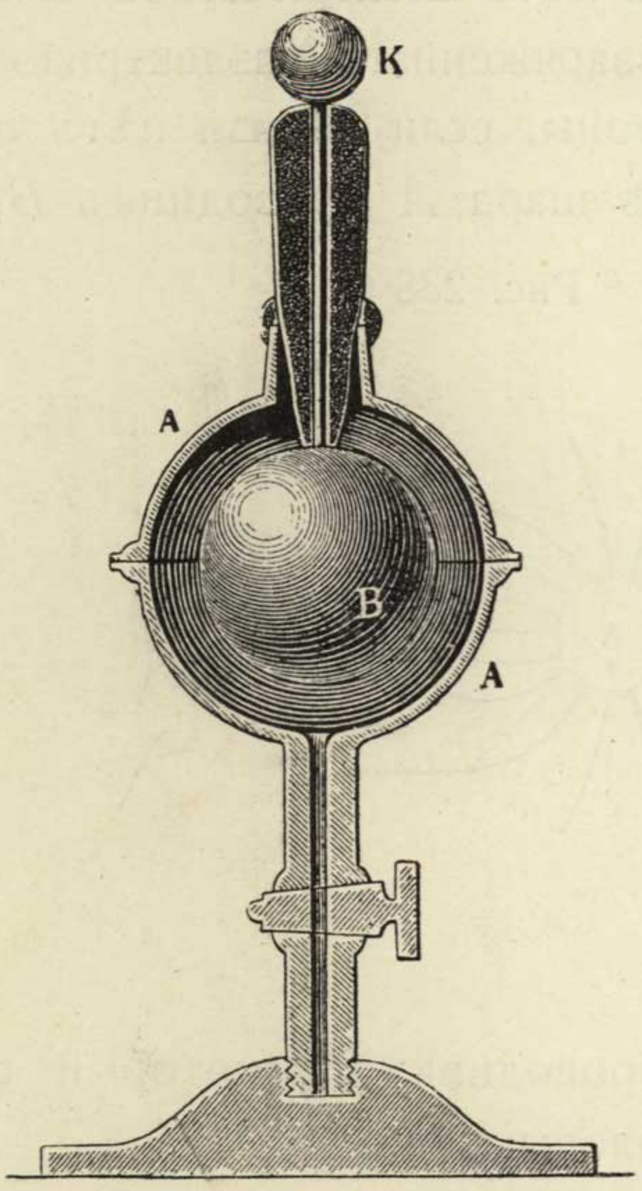
Рис. 239



Опытъ Фарадэя надъ распредѣленіемъ силовыхъ линій.

Если при помощи маленькаго пробнаго шарика изслѣдовать дѣйствіе силы, вызывающей своимъ вліяніемъ электризацію вблизи P, то оказывается, что въ точкѣ F не получается никакого дѣйствія, тогда какъ въ точкахъ G и H пробный шарикъ получаетъ электрическій зарядъ. Отсюда Фарадэй вывелъ заключеніе, что сила, возбуждающая электричество чрезъ вліяніе, дѣйствуетъ не сквозь металлическую пластинку, т. е. не сквозь хорошій проводникъ, а по кривымъ линіямъ, огибающимъ P. Это уже доказываетъ, что электрическое вліяніе не есть исключительно дѣйствіе на разстояніе, но что оно зависитъ и отъ природы промежуточнаго вещества. Чрезъ хорошіе проводники электричество чрезъ вліяніе не получается, а въ дурныхъ проводникахъ это дѣйствіе различно, что́ Фарадэй доказалъ при помощи прибора, изображеннаго на рис. 240. Этотъ приборъ въ существенномъ состоитъ изъ двухъ концентрическихъ металлическихъ полыхъ шаровъ. Внѣшній шаръ A состоитъ изъ двухъ полушарій, а внутренній при помощи проволоки связанъ съ шарикомъ K. Эта проволока изолирована шеллакомъ. Промежутокъ между A и B, при помощи изображеннаго на рисункѣ крана, можно наполнять различными газами или твердыми тѣлами (дурными проводниками), напримѣръ, шеллакомъ, сѣрой и т. д. Весь приборъ представляетъ собою родъ лейденской банки. Металлическіе шары соотвѣтствуютъ обкладкамъ банки, а пустое пространство между A и B соотвѣтствуетъ стекляннымъ стѣнкамъ банки.

Рис. 240



Опытъ Фарадэя надъ электрическимъ вліяніемъ сквозь различныя тѣла.

295. Въ своихъ опытахъ Фарадэй пользовался двумя приборами этого рода, сдѣланными по возможности совершенно одинаковыми во всѣхъ деталяхъ. Сначала заряжался внутренній шаръ B одного прибора и измѣрялось его напряженіе при помощи электроскопа. Затѣмъ пуговки K, а, значитъ, и шары B обоихъ приборовъ соединялись проводникомъ. Если потомъ промежутки заполнялись въ обоихъ приборахъ однимъ и тѣмъ же веществомъ, то электричество распредѣлялось равномѣрно въ обоихъ приборахъ. Но

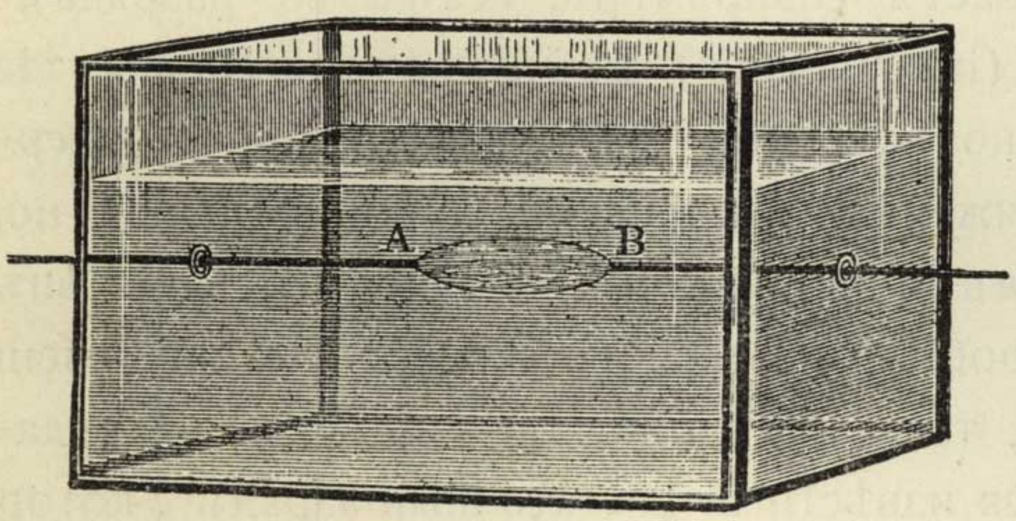
http://mathesis.ru

если это пространство въ одномъ приборѣ наполнялось воздухомъ, а въ другомъ инымъ веществомъ, напримѣръ, сѣрою, то приборы получали отъ одного и того же первоначальнаго заряда неодинаковое количество электричества. Приборъ, въ которомъ пустота была заполнена сѣрою, получаетъ (согласно позднѣйшимъ измѣреніямъ) приблизительно вчетверо больше электричества, чѣмъ тотъ приборъ, пустота котораго заполнена воздухомъ. Конечно, оба шара получаютъ одинаковый потенціалъ, но они имѣютъ различную ёмкость. Приборъ съ сѣрою имѣетъ вчетверо бо́льшую ёмкость, чѣмъ приборъ съ воздухомъ.

Такимъ образомъ, электрическая сила очевидно дѣйствуетъ съ различнымъ напряженіемъ сквозь сѣру и сквозь воздухъ.

Фарадэй объясняетъ это явленіе допущеніемъ, что молекулы изолятора подъ дѣйствіемъ электрической силы подвергаются измѣненіямъ. Согласно Гельмгольцу этотъ процессъ можно сравнить съ процессомъ намагничиванія. Подобно тому, какъ молекулы желѣза принимаютъ за маленькіе магниты, которые могутъ быть „направлены“ дѣйствіемъ магнитной силы, можно представить себѣ, что и молекулы изолятора „направляются“ электрической силой, причемъ нужно думать, что онѣ электрически „полярны“, но не „направлены“, пока на нихъ не дѣйствуетъ электрическая сила. Чѣмъ совершеннѣе онѣ „направлены“, тѣмъ сильнѣе дѣйствіе сквозь дурной проводникъ.

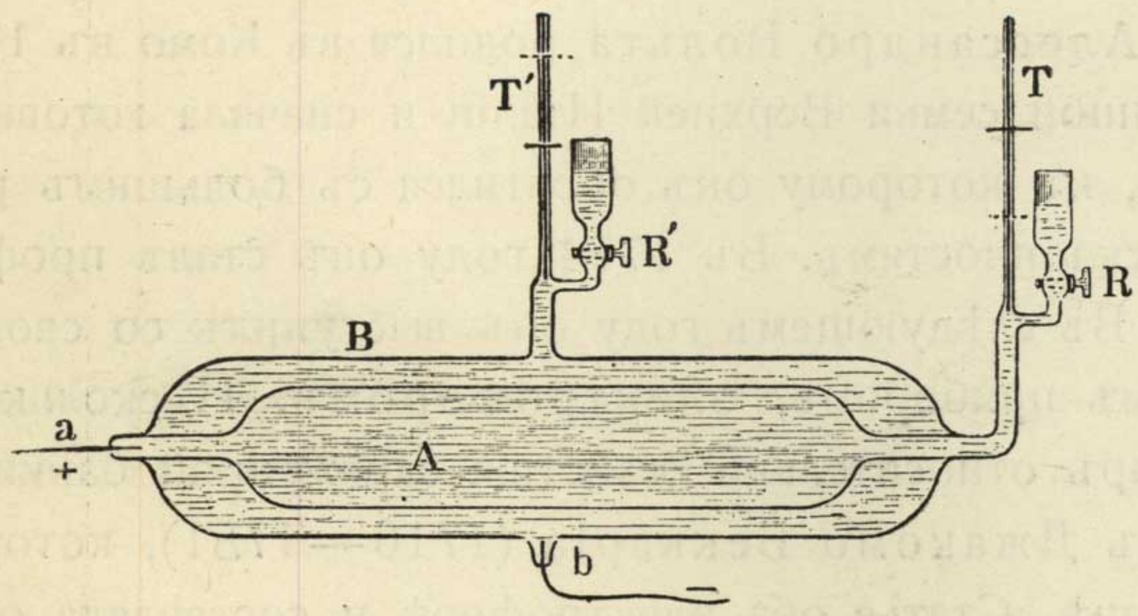
Рис. 241



Распредѣленіе молекулъ въ діэлектрическомъ тѣлѣ.

Фарадэй назвалъ изоляторы діэлектрическими тѣлами. Что частички діэлектрической жидкости дѣйствительно располагаются опредѣленнымъ образомъ, когда въ нихъ распространяется электрическая сила, онъ показалъ при помощи слѣдующаго опыта. Въ стеклянномъ сосудѣ, наполненномъ терпентиннымъ масломъ (рис. 241), находились другъ противъ друга два металлическихъ острія, изъ коихъ одно было соединено съ положительнымъ кондукторомъ электрической машины, а другое съ отрицательнымъ. Въ маслѣ плавало множество мелкихъ кусочковъ шелковыхъ нитей. Электрическая сила передавалась между остріями по молекуламъ скипидара и кусочкамъ нитей. Послѣднія располагались между металлическими остріями въ видѣ цѣпи, которая представляла замѣтное сопротивленіе разрыву.

Рис. 242



Опытъ Дютера.

Французскій физикъ Эмиль Дютеръ въ 1879 году сдѣлалъ опытъ, который ясно показываетъ, что объемъ діэлектрическаго тѣла измѣняется, когда сквозь него проходитъ электрическая сила. Стеклянный сосудъ *A* (рис. 242) помѣщается въ другой стеклянный сосудъ *B*. Оба сосуда наполнены проводящей электричество жид-

костью. Въ точкѣ *a* въ жидкость вступаетъ положительное, а въ точкѣ *b* отрицательное электричество отъ кондукторовъ электрической машины. Затѣмъ сосудъ *A* заряжается подобно лейденской банкѣ и жидкость въ трубкѣ *T'* сейчасъ же подымается, а въ трубкѣ *T* падаетъ. Такимъ образомъ, сосудъ *A* во время заряжанія становится больше. При разряжаніи происходитъ обратное и объемъ *A* уменьшается.

296. Для того чтобы имѣть возможность выражать различія въ способности діэлектриковъ располагаться молекулярно-электрически, ввели особую величину, которую назвали діэлектрической постоянной. Ея значеніе нетрудно понять въ связи съ тѣми опытами, которые можно произвести при помощи прибора Фарадэя (рис. 240). Если принять діэлектрическую постоянную воздуха за 1, то діэлектрическая постоянная сѣры будетъ равна 4. Произведя этотъ опытъ съ другими веществами, можно получить діэлектрическія постоянныя этихъ веществъ.

Діэлектрическія постоянныя жидкостей чрезвычайно разнообразны, напримѣръ, постоянная воды равна 78, постоянная керосина только 2. У твердыхъ тѣлъ эти различія также значительны (напримѣръ, стекло 7, парафинъ 2).

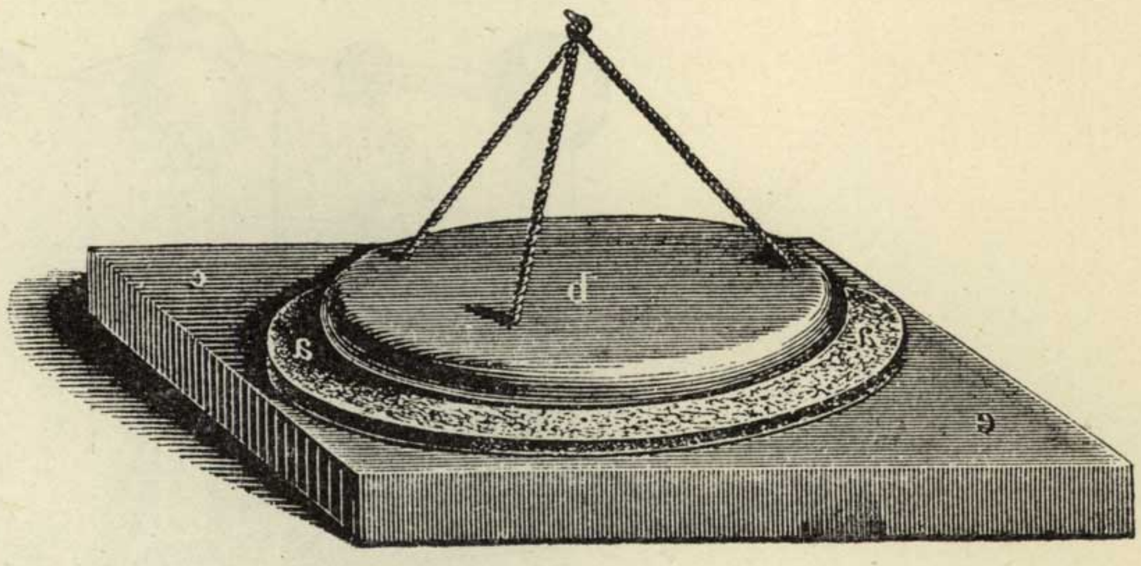
297. Если діэлектрическое тѣло „поляризуется“ дѣйствіемъ электрической силы и если затѣмъ электрическая сила исчезаетъ (напримѣръ, вслѣдствіе разряда), то исчезаетъ „молекулярное расположеніе“ (поляризація) въ діэлектрическомъ тѣлѣ, притомъ или сразу (какъ въ газахъ) или по истеченіи извѣстнаго времени (какъ въ твердыхъ тѣлахъ). Стеклянныя стѣнки заряженной лейденской банки, конечно, поляризованы. Если разрядить банку, соединивъ проводникомъ на одно мгновеніе внѣшнюю обкладку съ внутренней, то банка (вообще) не теряетъ своей силы совершенно. Стекло остается отчасти поляризованнымъ, такъ какъ оно, такъ сказать, никогда не бываетъ совершенно однороднымъ. Остается извѣстный „остаточный зарядъ“, который можетъ вызвать новый (значительно болѣе слабый) разрядъ. Позднѣйшія изслѣдованія привели къ тому результату, что „остаточнаго заряда“ не остается, если діэлектрическая стѣнка совершенно однородна по строенію своихъ молекулъ, напримѣръ, если это есть пластинка кристалла или жидкость. Въ этомъ случаѣ разрядъ производитъ совершенный безпорядокъ въ расположеніи молекулъ по всему діэлектрическому тѣлу.

298. Упомянутый уже раньше Алессандро Вольта родился въ Комо въ 1745 году. Онъ происходилъ изъ почтенной семьи Верхней Италіи и сначала готовился въ священники. Но изученіе физики, къ которому онъ обратился съ большимъ рвеніемъ, больше соотвѣтствовало его склонностямъ. Въ 1774 году онъ сталъ профессоромъ физики въ родномъ городѣ. Въ слѣдующемъ году онъ выступилъ со своимъ первымъ интереснымъ электрическимъ приборомъ, электрофоромъ. Нѣсколькими годами раньше онъ вступилъ въ споръ относительно дѣйствія заряженной банки со своимъ ученымъ землякомъ, патеромъ Джакомо Беккаріа (1716—1781), который былъ профессоромъ физики въ Туринѣ. Статья объ электрофорѣ и составляла одно изъ послѣднихъ возраженій въ этомъ спорѣ. Беккаріа замѣнилъ стеклянную пластинку Франклиновой доски (§ 268) смоляною и экспериментировалъ съ подвижными металлическими обкладками (§ 273). Электрофоръ Вольты состоитъ изъ куска смолы (точнѣе 2 частей смолы, 2 частей терпентиннаго масла и 1 части воска), вылитаго въ металлическое блюдо (рис. 243). Смола должна имѣть гладкую и блестящую поверхность. Кромѣ того, электрофоръ имѣетъ металлическую крышку, которая нѣсколько

меньше, чѣмъ смоляной кругъ, и поддерживается на шелковыхъ нитяхъ или на стеклянной ручкѣ.

Для полученія электричества электрофоромъ пользуются слѣдующимъ образомъ. Смолу натираютъ мѣхомъ или, еще лучше, по ней бьютъ лисьимъ хвостомъ. Отъ этого она электризуется отрицательно. Затѣмъ на нее накладывается крышка, въ которой получается электричество чрезъ вліяніе (рис. 244). Если теперь коснуться крышки пальцемъ, то отрицательное электричество уйдетъ въ землю, а положительное останется въ крышкѣ, такъ какъ оно будетъ притягиваться отрицательнымъ электричествомъ смолы. Если затѣмъ снять крышку со смолы, то на ней останется свободное положительное электричество и изъ нея можно извлечь пальцемъ искру. Такое заряжаніе и разряжаніе крышки можно повторить, сколько угодно разъ, безъ новаго натиранія смолы, такъ какъ электричество смолы не переходитъ въ металлическую крышку, а лишь вызываетъ электричество въ послѣдней своимъ вліяніемъ.

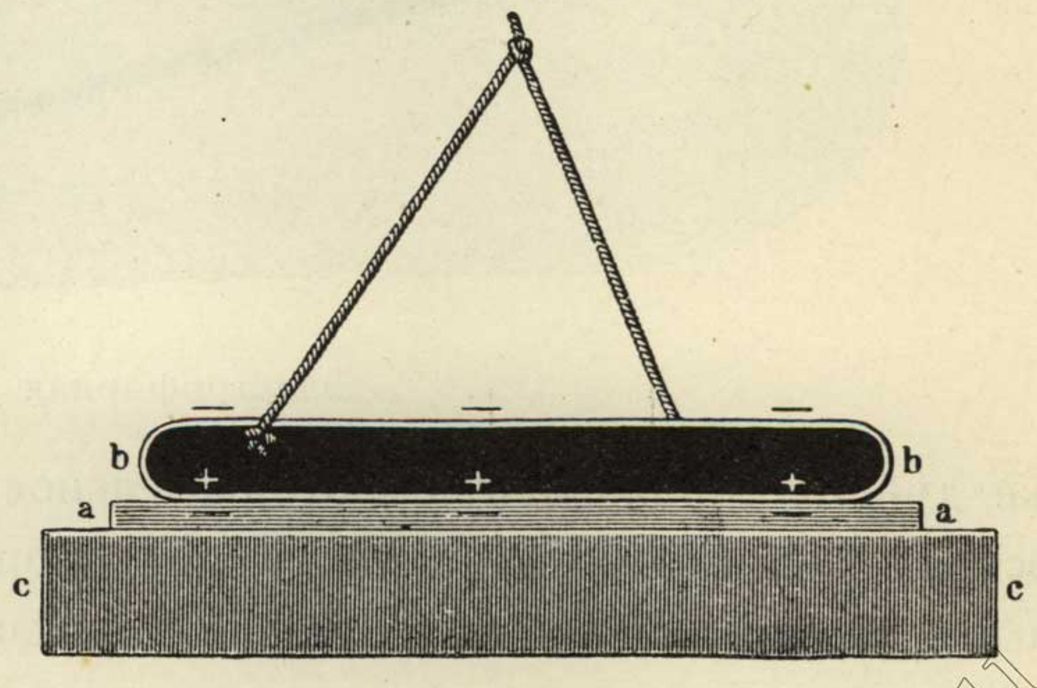
Рис. 243



Электрофоръ Вольты.

299. Передъ обыкновенной электрической машиной электрофоръ имѣетъ то преимущество, что электричество получается въ немъ безъ тренія. Поэтому стали строить машины, дѣйствующія непрерывно, въ которыхъ электричество также получается чрезъ вліяніе. Эти машины обыкновенно называются электрофорными. Въ настоящее время ихъ существуетъ нѣсколько видовъ. На рис. 245 изображена электрофорная машина Гольца. Устройство этой машины ясно изъ чертежа. Изъ двухъ стеклянныхъ круговъ *A* и *B* первый неподвиженъ, а второй можетъ вращаться около оси *x*. Въ кругѣ *A* сдѣланы два діаметрально противоположныхъ прорѣза *a* и *b*, возлѣ которыхъ наклеены бумажныя накладки *c* и *d*. Отъ каждаго изъ этихъ двухъ кусковъ бумаги (арматуръ) выдается въ прорѣзъ заостренная полоска плотной бумаги. Противъ бумажныхъ накладокъ передъ подвижнымъ кругомъ *B* установлены „вилки“ *g* и *i*, рукоятки которыхъ оканчиваются шариками *f* и *e*. Эти рукоятки лежатъ въ поперечинѣ *k* (изъ эбонита). Сквозь шарики *f* и *e* проходятъ два подвижныхъ латунныхъ стержня, которые оканчиваются шариками *p* и *n* и къ которымъ прикрѣплены эбонитовыя ручки.

Рис. 244



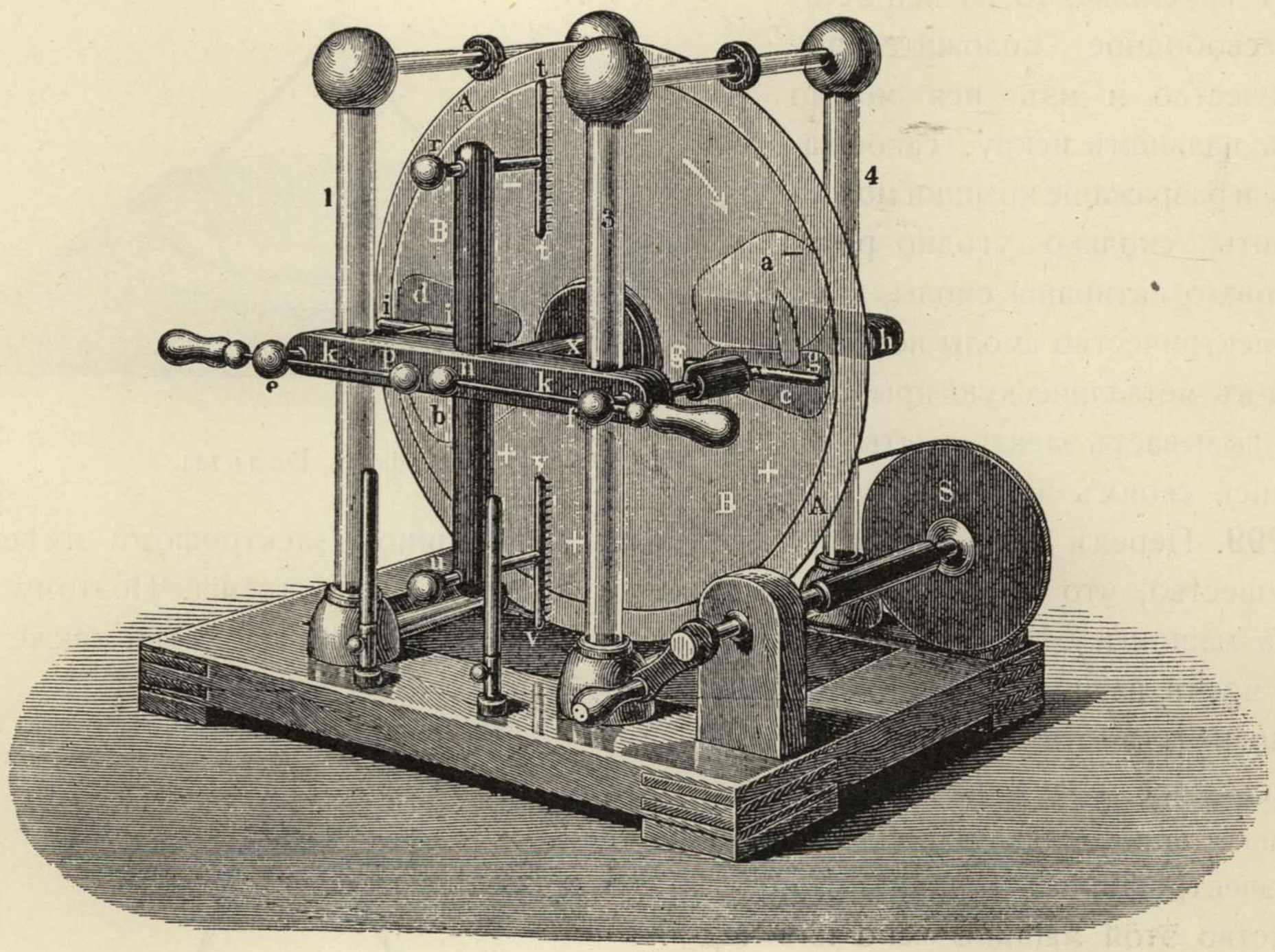
Распредѣленіе электричества на электрофорѣ.

Для того чтобы привести въ дѣйствіе эту машину, бумажной накладкѣ *c* сообщаютъ нѣкоторое количество электричества, касаясь ея натертой эбонитовой пластинкой. Затѣмъ вращаютъ кругъ *B* въ направленіи стрѣлки, сдвинувъ до соприкос-

http://mathesis.ru

новенія шарики *n* и *p*, такъ называемые электроды. Получаемое электричество своимъ вліяніемъ вызываетъ электричество въ вилкѣ *g*. Вслѣдствіе этого шарикъ *n* электризуется отрицательно. Положительное электричество течетъ съ вилки на кругъ, такъ что послѣдній, сдѣлавъ полъ-оборота, къ другой вилкѣ *i* подходитъ съ положительнымъ зарядомъ. Этотъ положительный зарядъ дѣйствуетъ своимъ вліяніемъ съ одной стороны на накладку *d*, а съ другой на вилку *i*. Вслѣдствіе этого шарикъ *p* электризуется положительно. Отрицательное электричество, выходящее изъ вилки, нейтрализуетъ положительное электричество круга и электризуетъ кругъ отрицательно. Такое

Рис. 245



Электрофорная машина Гольца.

же дѣйствіе производитъ и отрицательное электричество, вытекающее изъ бумажнаго острія. Такимъ образомъ, послѣ полуоборота кругъ приходитъ къ *g* съ отрицательнымъ зарядомъ. При продолженіи вращенія къ одному изъ электродовъ будетъ непрерывно притекать положительное электричество, а къ другому отрицательное. Въ мѣстѣ соприкосновенія двухъ шариковъ электричества соединяются съ особымъ шипѣніемъ. Если раздвинуть шарики, то это соединеніе черезъ промежутокъ будетъ происходить въ формѣ издающаго трескъ потока искръ. Если соединить каждый изъ электродовъ съ усиливающей банкой, то образуются болѣе сильныя отдѣльныя искры.

Другая пара вилокъ, которыми обыкновенно бываетъ снабжена машина (рис. 245) и которыя связаны металлическимъ соединеніемъ съ двумя первыми (*t* съ *g* и *v* съ *i*), служатъ для предохраненія машины отъ разряженія, если электроды будутъ удалены одинъ отъ другого слишкомъ далеко.

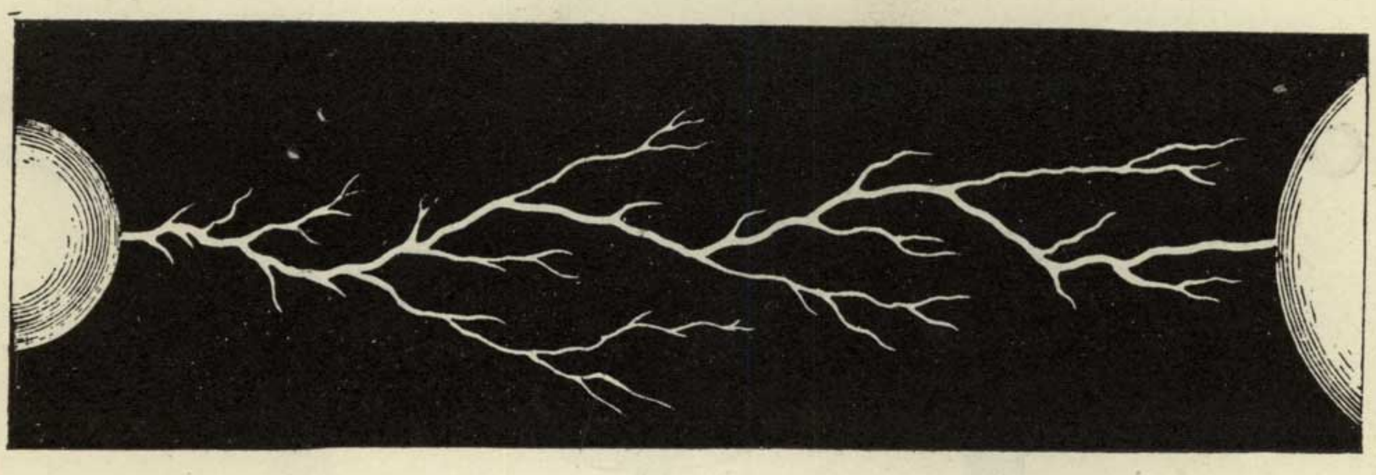
Такъ называемыя самовозбуждающіяся электрофорныя машины, къ числу которыхъ, между прочимъ, принадлежитъ машина Вимсгёрста, устраиваются такъ, что

http://mathesis.ru

сами производятъ (посредствомъ тренія) небольшое количество электричества, необходимое для начала работы машины. Такимъ образомъ, чтобы пустить такую машину въ ходъ, не нужно сначала сообщать ей зарядъ, взятый изъ другого источника.

300. Отто фонъ-Герике, докторъ Воллъ и Гауксби, которые, какъ было сказано, первые изслѣдовали электрическую искру, получали лишь слабыя ея дѣйствія, такъ какъ они извлекали искры изъ дурныхъ проводниковъ: сѣры, янтаря или стекла. Такъ какъ искра есть разрядъ, т. е. соединеніе положительнаго и отрицательнаго электричествъ между двумя тѣлами, то она не можетъ быть очень сильной при дурномъ проводникѣ, ибо послѣдній можетъ отдавать каждый разъ лишь часть своего электричества. Гралатъ и Винклеръ получали значительно болѣе сильныя искры съ помощью лейденскихъ банокъ. Въ самомъ дѣлѣ, лейденская банка при проскакиваніи искры разряжаетъ, такъ сказать, все свое электричество. Сильныя искры можно также получить изъ кондуктора электрической машины. Обыкновенно электрическую искру наблюдаютъ въ воздухѣ, но ее можно получить также въ дурно проводящихъ жидкостяхъ и въ твердыхъ тѣлахъ. Короткія искры прямолинейны, а болѣе длинныя зигзагообразны и имѣютъ отвѣтвленія, которыя направлены въ сторону отъ тѣла, отдающаго положительное электричество (рис. 246). Цвѣтъ искры въ разныхъ газахъ различенъ. Въ атмосферномъ воздухѣ искра имѣетъ голубоватый оттѣнокъ, въ

Рис. 246



Зигзагообразная электрическая искра.

азотѣ синій, въ кислородѣ бѣлый, въ водородѣ красный, въ угольной кислотѣ зеленоватый. Окраска искры зависитъ также отъ металловъ, между которыми она проскакиваетъ и отъ которыхъ отрываетъ частички. Чѣмъ больше напряженіе между шариками, между которыми проскакиваетъ искра, тѣмъ больше можетъ быть ея длина. Но кромѣ того, послѣдняя въ высокой степени зависитъ также отъ плотности воздуха. Длина различна также въ различныхъ газахъ.

Продолжительность электрической искры измѣрилъ въ 1834 году Чарльзъ Витстонъ (1802—1875) въ Лондонѣ. Онъ пропускалъ искру между двумя шариками, которые стояли передъ зеркаломъ, чрезвычайно быстро вращавшимся около оси, параллельной направленію искры. Еслибы искра продолжалась только одно мгновеніе, т. е. неизмѣримо малое время, то ея изображеніе въ зеркалѣ получалось бы въ видѣ свѣтлой линіи. Но если искра имѣетъ измѣримую продолжительность, то ея изображеніе во вращающемся зеркалѣ должно казаться свѣтлой полосой. Витстонъ нашелъ, что искра отъ кондуктора электрической машины не продолжается и одной милліонной доли секунды. Напротивъ, съ разрядными искрами батареи дѣло обстояло совершенно иначе. Въ одномъ опытѣ зеркало дѣлало 800 оборотовъ въ секунду и

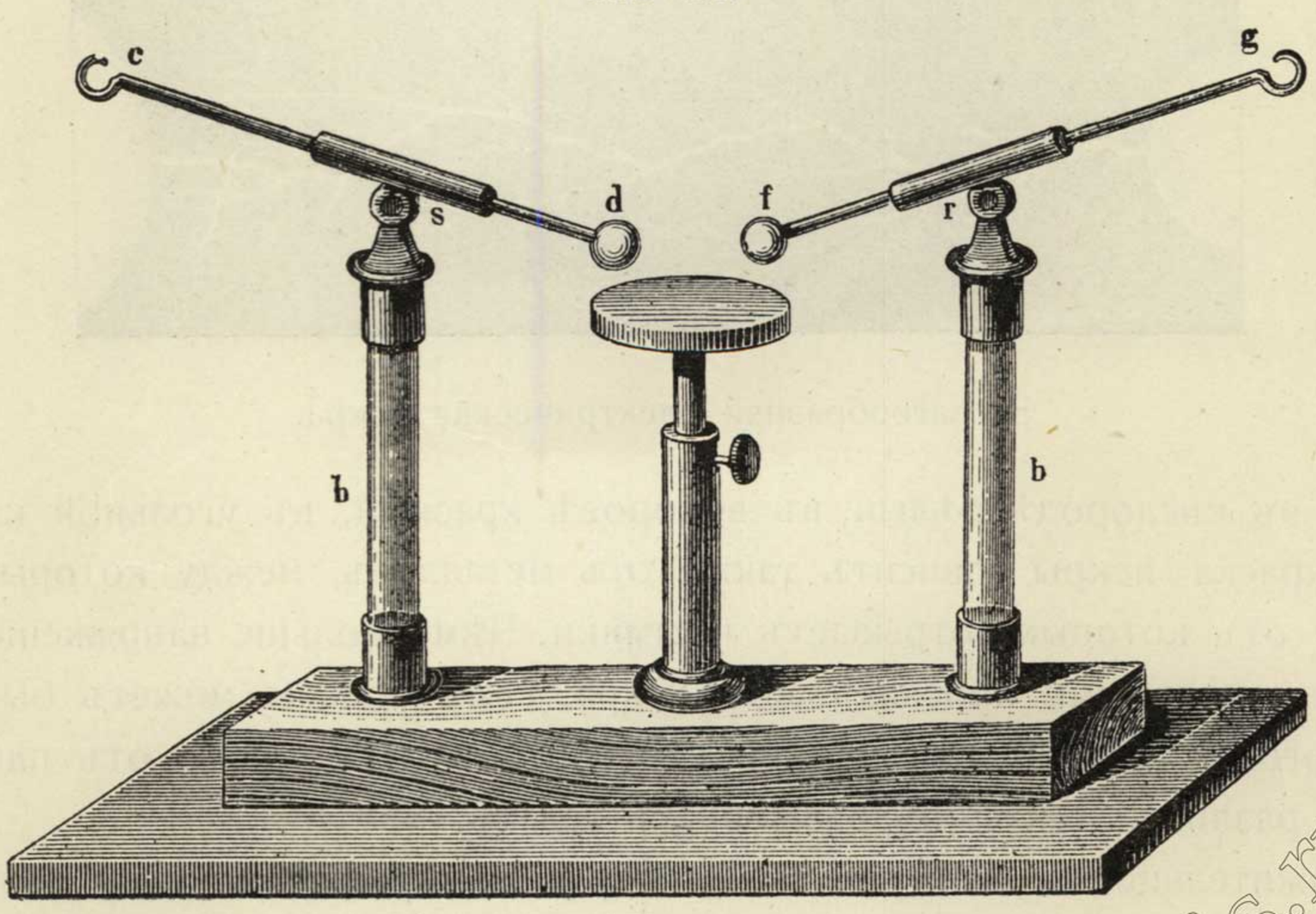
Витстонъ наблюдалъ свѣтлую полосу шириною въ 24°. Такимъ образомъ, продолжительность искры представляла то время, которое было нужно зеркалу для поворота на 12°. На полный оборотъ зеркало употребляло $^1/_{800}$ секунды, слѣдовательно для поворота на 12° ему требовалась $^1/_{24\,000}$ доля секунды. Витстонъ опредѣлялъ также продолжительность молніи и нашелъ, что она ничтожна въ сравненіи съ $^1/_{2000}$ секунды.

Изъ этихъ изслѣдованій вытекаетъ, что разрядъ конденсатора происходитъ совершенно инымъ путемъ, чѣмъ разрядъ между двумя проводниками (ср. § 297).

Позднѣйшія изслѣдованія Феддерсена (род. въ 1832 году въ Шлезвигѣ) показали, что разрядъ лейденской банки происходитъ въ видѣ не одной только искры, а цѣлаго ряда послѣдовательныхъ искръ. Феддерсенъ наблюдалъ эти отдѣльныя искры въ быстро вращающемся зеркалѣ. На основаніи строенія изображенія искры, закрѣпленнаго имъ фотографически, онъ вывелъ заключеніе, что здѣсь получается рядъ искръ, чрезвычайно быстро слѣдующихъ другъ за другомъ то въ одномъ, то въ другомъ направленіи и постепенно слабѣющихъ. Онъ назвалъ этотъ процессъ колебательнымъ разрядомъ.

301. Электрическая искра, т. е. электрическій разрядъ, обладаетъ энергіей, которая преобразуется въ различныя формы. При изслѣдованіи дѣйствія сильныхъ разрядовъ обыкновенно пользуются разрядникомъ (рис. 247), построеннымъ Вильямомъ Генли (членъ Royal Society, ум. 1779). Разрядникъ состоитъ изъ двухъ подвижныхъ

Рис. 247



Разрядникъ Генли.

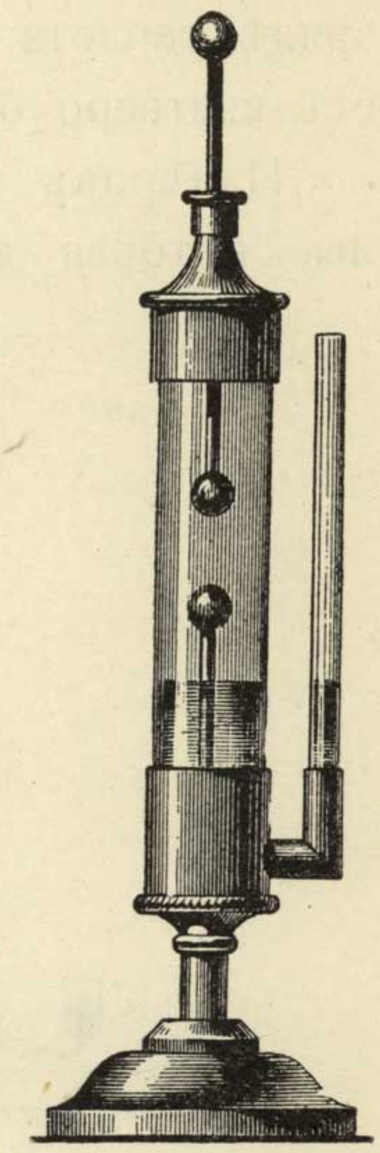
металлическихъ стержней, между концами которыхъ, снабженными шариками или остріями, проскакиваетъ искра. Сильныя искры пробиваютъ бумагу, стеклянныя пластинки и другіе дурные проводники и дѣйствіе искры въ этихъ случаяхъ бываетъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ выше напряженіе электричества. Напротивъ, количество электричества не играетъ здѣсь большой роли. Эти опыты удаются лучше всего при помощи электрофорной машины (§ 299).

Когда искра проскакиваетъ въ воздухѣ, наблюдаются различныя тепловыя и

http://mathesis.ru

механическія явленія. При помощи электрической искры можно зажечь винный спиртъ, порохъ, трутъ, фосфоръ и т. п., а воздухъ отъ искръ сильно нагрѣвается и расширяется. Въ то же время воздухъ „механически“ приводится въ движеніе, такъ что легкія тѣла, напримѣръ, мелкіе обрѣзки бумаги или кусочки бузинной сердцевины, находящіеся вблизи искры, отбрасываются въ сторону. Американскій врачъ Эбенезеръ Киннерсли, другъ Франклина, читавшій лекціи о громоотводахъ въ городахъ Сѣверной Америки, наглядно показывалъ дѣйствіе разряда на воздухъ при помощи прибора (термометра), изображеннаго на рис. 248. Стеклянный цилиндръ, въ которомъ проскакиваетъ искра между двумя шариками, закрытъ съ обоихъ концовъ. Нижняя часть цилиндра и боковой трубки (открытой сверху) наполнена водой. Когда происходитъ разрядъ, воздухъ расширяется и подымаетъ воду въ боковой трубкѣ.

Рис. 248



Электрическій термометръ Киннерсли.

При опытахъ со своимъ „термометромъ“ Киннерсли нашелъ, что подъ вліяніемъ электрическихъ искръ воздухъ подвергается замѣчательному измѣненію. Пропуская искры сквозь заключавшійся въ его „термометрѣ“ воздухъ и охлаждая его затѣмъ до первоначальной температуры, Киннерсли замѣтилъ, что объемъ воздуха сталъ меньше, а при ближайшемъ изслѣдованіи оказалось, что часть азота воздуха соединилась съ кислородомъ, образовавъ азотную кислоту. Такимъ образомъ, разрядъ вызвалъ химическое дѣйствіе. Это объясняло давнишнее наблюденіе, что при ударахъ молніи и при сильныхъ разрядахъ электрической машины ощущается запахъ, напоминающій сѣру. Франклинъ предполагалъ, что этотъ запахъ „происходитъ отъ чего-то, находящагося въ воздухѣ и подвергающагося дѣйствію электричества“. Позднѣе (1840) Шёнбейнъ показалъ, что этотъ запахъ обусловливается своеобразнымъ превращеніемъ кислорода. Кислородъ подвергается особому уплотненію (изъ трехъ молекулъ получаются двѣ) и обращается въ такъ называемый озонъ. Это названіе („пахнущій“) должно указывать, что этотъ родъ кислорода отличается отъ обыкновеннаго кислорода сильнымъ запахомъ, который напоминаетъ сѣру.

302. Та энергія, которая проявляется при разрядѣ, конечно, содержится въ заряженныхъ электричествомъ тѣлахъ, между которыми происходитъ разрядъ. Заряжаніе тѣла электричествомъ и полученіе электричества связано съ затратой энергіи. Это можно очень хорошо видѣть на электрофорной электрической машинѣ. Когда машина производитъ электричество, вращать ее замѣтно труднѣе, чѣмъ въ томъ случаѣ, когда она движется, не давая электричества.

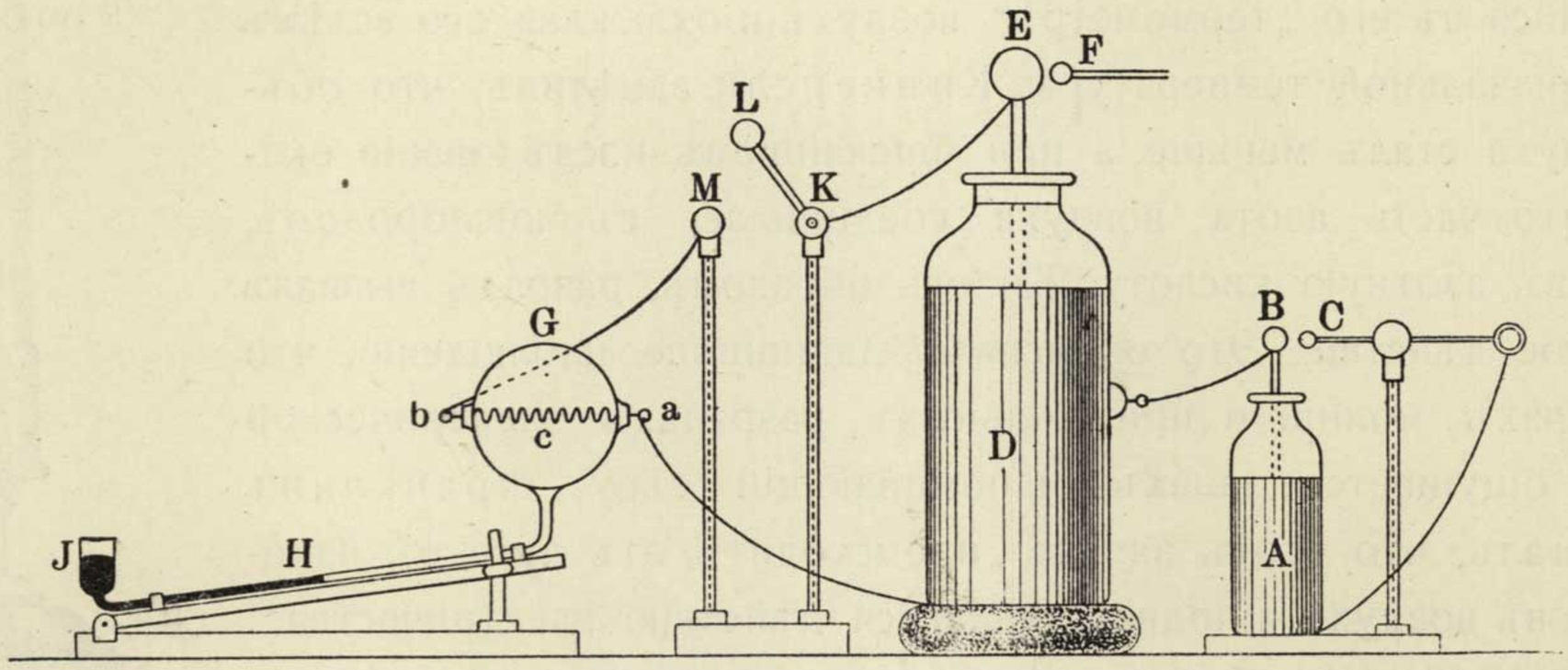
Профессоръ Риссъ въ Берлинѣ (1804—1883), издавшій въ 1853 году большой трудъ объ электричествѣ, производимомъ треніемъ, мѣрялъ эту энергію, пропуская разрядъ черезъ тонкую платиновую проволоку. При этомъ электричество, такъ сказать, совершенно преобразуется въ теплоту. При этихъ опытахъ онъ разряжалъ большую лейденскую банку D (рис. 249), которая сама заряжалась отъ металлическаго стержня F, соединеннаго съ кондукторомъ электрической машины (не показанной на рисункѣ). Величина заряда банки D опредѣлялась при помощи банки A Лэна (ср. § 286). Для измѣренія получающейся теплоты служитъ воздушный термометръ

http://matesis.ru

GHJ. Воздухъ въ стеклянномъ шарѣ *G* отдѣленъ отъ внѣшняго воздуха ртутью. Концы *a* и *b* спиральной платиновой проволоки *c* выступаютъ наружу изъ стѣнокъ шара, въ которыя впаяна проволока. Отъ *a* идетъ проволока къ внѣшней обкладкѣ банки *D*, а отъ *b* къ изолированному металлическому шару *M*. Внутренняя обкладка банки *D*, какъ видно на рисункѣ, соединяется съ изолированнымъ металлическимъ шаромъ *K*. Поворачивая металлическій стержень *KL*, можно соединять *K* и *M*. При этомъ банка разряжается черезъ платиновую спираль. Теплота, получающаяся при разрядѣ, заставляетъ расширяться заключенный въ шарѣ воздухъ. Величина этого расширенія, которую можно отсчитать при помощи столбика ртути *HJ*, служитъ мѣрой теплоты, полученной въ проволокѣ *c*. Риссъ нашелъ, что получающаяся при разрядѣ теплота пропорціональна квадрату электрическаго заряда. Двойной зарядъ даетъ вчетверо больше теплоты, тройной зарядъ—въ девять разъ больше и т. д.

Измѣривъ количество полученной теплоты, можно вычислить величину той силы, которая дѣйствовала во время краткой продолжительности искры, и такимъ

Рис. 249



Измѣреніи энергіи разряда.

образомъ былъ найденъ поразительный результатъ, что сильная искра развиваетъ силу въ нѣсколько сотъ лошадиныхъ силъ. Въ молніи получаются неизмѣримо огромныя силы. Электрическій разрядъ представляетъ наиболѣе сильное изъ извѣстныхъ намъ явленій природы.

303. Проходя сквозь человѣческое тѣло, электрическій разрядъ вызываетъ извѣстныя физіологическія дѣйствія. Разрядъ всегда сопровождается сильнымъ дѣйствіемъ на нервы и мускулы, человѣкъ при этомъ испытываетъ „ударъ“, который оглушающе дѣйствуетъ на нервы и производитъ судорожныя явленія въ мускулахъ. Сильные разряды бываютъ смертельны (Рихманнъ, § 278). Гралатъ и Нолле убивали электрическимъ ударомъ лейденской банки птицъ и другихъ мелкихъ животныхъ. Въ серединѣ XVIII вѣка электричествомъ стала пользоваться медицина, а именно, его стали прилагать къ леченію паралича. Въ 1745 году Кратценштейнъ написалъ книгу о примѣненіи электричества въ медицинѣ. Онъ первый лечилъ параличъ посредствомъ электричества. Въ 1744 году онъ излечилъ получасовой электризаціей парализованный палецъ. Докторъ Ватсонъ (§ 268) въ 1763 году въ теченіе двухъ съ половиною мѣсяцевъ ежедневно электризовалъ вполнѣ парализованнаго ребенка и совершенно вылѣчилъ его. Съ другой стороны, электрическимъ леченіемъ сильно и злоупотребляли. Разумѣется, при примѣненіи электрическаго раз-

http://mathesis.ru

ряда въ качествѣ лечебнаго средства нужно соблюдать чрезвычайную осторожность. Шарлатаны, совершенно несмыслившіе въ физіологической сторонѣ дѣла, брались лечить при помощи электрической машины и лейденской банки всевозможныя болѣзни. Невѣжественные люди чуть ли не вѣрили, что электризаціей можно оживлять умершихъ.

Но въ то же время точнѣе изслѣдовались также электрическія рыбы, между которыми уже съ древнѣйшихъ временъ былъ извѣстенъ живущій въ Средиземномъ морѣ электрическій скатъ. Раньше думали, что наносимые скатомъ „удары“ механическіе и что они, такимъ образомъ, являются слѣдствіемъ чрезвычайно сильныхъ и быстро слѣдующихъ другъ за другомъ мускульныхъ движеній. Но когда стало извѣстно дѣйствіе лейденской банки, то стали предполагать, что наносимые этой рыбой удары представляютъ собою электрическіе разряды. Что это дѣйствительно такъ, доказалъ Джонъ Вальшъ (ум. 1795) въ 1773 году. Вальшъ подмѣтилъ также, что скатъ можетъ нанести ударъ только тогда, когда его спина соединяется проводникомъ съ его брюхомъ. Кромѣ электрическаго ската электрическими органами обладаютъ и нѣкоторыя другія рыбы, напримѣръ, электрическій сомъ и электрическій угорь. Электрическій органъ рыбъ состоитъ изъ большого числа многоугольныхъ столбиковъ, отдѣленныхъ другъ отъ друга сухожильной оболочкой, повидимому дѣйствующей, какъ изоляторъ. Эти столбики сами состоятъ изъ наложенныхъ другъ на друга многочисленныхъ листочковъ, между которыми находится слизистая жидкость. Въ этихъ листочкахъ и скопляется электрическое напряженіе, выравниваніемъ котораго производится электрическій ударъ.

По нѣкоторымъ сказаніямъ древніе обитатели береговъ Средиземнаго моря купали дѣтей въ водѣ, въ которой жили электрическіе скаты. И греческіе и римскіе писатели много повѣствуютъ о лечебномъ дѣйствіи этой рыбы. Такимъ образомъ, можно сказать, что „электрическое“ леченіе болѣзней восходитъ до глубокой древности.

Равнымъ образомъ съ древнѣйшихъ временъ сохранились разсказы объ „электрическихъ людяхъ“. Какъ говорятъ, Теодорихъ Великій обладалъ необычайной особенностью: при ходьбѣ изъ него иногда вылетали искры. То же разсказываютъ и о нѣкоторыхъ другихъ людяхъ.

Такого рода явленія наблюдались и въ новѣйшія времена. Въ 1837 году одна дама въ Сѣверной Америкѣ была такъ сильно заряжена электричествомъ впродолженіе нѣсколькихъ мѣсяцевъ, что изъ нея можно было извлекать искры. Одинъ изъ наиболѣе выдающихся изслѣдователей въ этой области, Эмиль Дюбуа-Реймонъ (ум. 1896) установилъ, что есть люди, которые могутъ зарядить лейденскую банку простымъ прикосновеніемъ. Но электрическихъ органовъ у человѣка не наблюдали.

Изслѣдованія электрическихъ рыбъ и примѣненія электричества въ медицинѣ побудили къ ревностному изслѣдованію электрическихъ явленій въ живыхъ существахъ. Думали даже, что во всѣхъ жизненныхъ процессахъ проявляется дѣйствіе животнаго электричества.

---

http://mathesis.ru

http://mathesis.ru

Электрическій токъ

http://mathesis.ru

http://mathesis.ru

Гальванизмъ

---

304. Подобно всѣмъ профессорамъ медицины въ концѣ XVIII вѣка, дѣлалъ опыты съ электричествомъ и Луиджи Гальвани (1737—1798), профессоръ анатоміи въ Болоньѣ. Для этой цѣли въ его лабораторіи стояла электрическая машина. Въ 1791 году онъ напечаталъ свою статью „Объ электрическихъ силахъ при мускульныхъ движеніяхъ“. Наблюденіе, которое побудило его произвести изложенные въ этой статьѣ опыты, онъ описываетъ слѣдующимъ образомъ.

„Я разсѣкъ лягушку, препарировалъ ее, какъ указано на фиг. 2 таб. I, (рис. 250) и положилъ ее, не обращая вниманія на все остальное, на столъ, на которомъ стояла электрическая машина, далеко отъ ея кондуктора и на не очень близкомъ разстояніи отъ нея. Когда одно изъ лицъ, помогавшихъ мнѣ, случайно чуть-чуть коснулось концомъ скальпеля внутренняго бедреннаго нерва лягушки *DD*, то всѣ мускулы этого сочлененія сократились нѣсколько разъ, какъ будто въ нихъ произошли сильныя тоническія судороги. Но другое лицо, помогавшее намъ при электрическихъ опытахъ, какъ ему казалось, замѣтило, что это происходило тогда, когда изъ кондуктора машины извлекалась искра. Удивленное этимъ новымъ явленіемъ, это лицо обратило на него мое вниманіе. Меня охватила неимовѣрная жажда и рвеніе изслѣдовать это и пролить свѣтъ на то, что было подъ этимъ скрыто“.

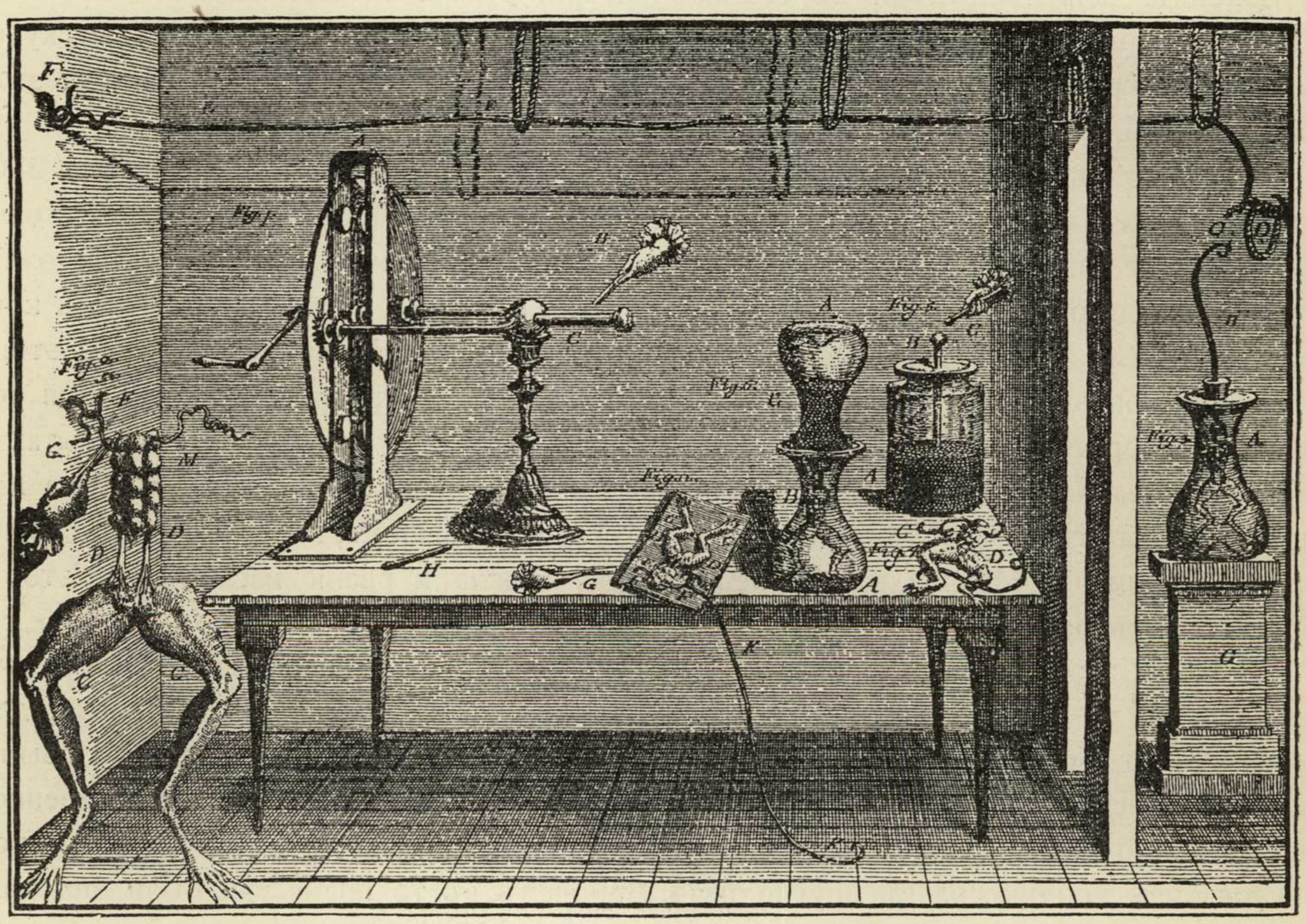
Гальвани, разумѣется, зналъ, что тѣло животнаго совершаетъ судорожныя движенія, когда сквозь него проходитъ электрическій разрядъ. Слѣдовательно, для него не могло быть новостью, что электричество производитъ такое дѣйствіе. Новымъ въ этомъ явленіи было то, что здѣсь электричество не дѣйствовало непосредственно. Электричество не проходило изъ кондуктора въ препарированную лягушку, а проводилось изъ кондуктора въ другое тѣло. Впрочемъ, въ то время уже были знакомы съ электрическимъ вліяніемъ (ср. § 274). Гальвани было также ясно, что движенія мускуловъ обусловливались разрядомъ кондуктора. Тѣмъ не менѣе, у него не было удовлетворительнаго объясненія этого явленія. Это и побудило его основательно изслѣдовать дѣйствіе электричества на мускулы и нервы.

Осталось неизвѣстнымъ, кто первый подмѣтилъ движеніе ножки лягушки и обратилъ вниманіе Гальвани на это явленіе. Предполагали, что это была жена Гальвани, которая была даже воспѣта въ одномъ сонетѣ, какъ дѣйствительно открывшая указанное явленіе. Гальвани ничего не говоритъ объ этомъ и весь вопросъ представляетъ мало интереса, такъ какъ это первое наблюденіе вовсе не представляло крупнаго открытія. Его объясненіе было нетрудно согласовать съ тѣмъ, что было тогда извѣстно объ электричествѣ (ср. § 305). Значеніе этого наблюденія лежитъ въ томъ, что оно побудило Гальвани къ изслѣдованіямъ, которыя привели къ важнымъ открытіямъ.

http://mathesis.ru

305. Прежде всего Гальвани нашелъ, что движенія мускуловъ получаются только въ томъ случаѣ, когда изъ кондуктора электрической машины извлекаются искры, и что величина этихъ движеній находится въ большой зависимости отъ того, какъ держать ножъ. Тотъ ножъ, которымъ пользовался при этихъ опытахъ Гальвани, имѣлъ ручку изъ слоновой кости. Если ножь держали за ручку (изъ дурного проводника), то движенія были слабы. Но если ножъ брали за лезвіе, то получались сильныя движенія. Когда Гальвани бралъ въ руку сухую стеклянную трубку и прикасался ею къ нервамъ, то мускулы при извлеченіи искры изъ кондуктора не двигались. Опытъ удавался только въ томъ случаѣ, когда нерва касались какимъ-нибудь проводникомъ. Движенія дѣлались еще сильнѣе, если мускулы соединялись проводомъ съ землей. На рис. 250 изображенъ экспериментальный столъ Гальвани.

Рис. 250



Экспериментальный столъ Гальвани.

На немъ лежитъ препарированная лягушка; ея бедренный мускулъ соединенъ металлической проволокой K съ землею и къ его нерву рука G приближаетъ ножъ, въ то время какъ рука B извлекаетъ искру изъ кондуктора C. Слѣва на рисункѣ помѣщено болѣе отчетливое изображеніе препарированной лягушки.

Дѣйствіе разряда на лягушечью ножку объясняется легко. Въ самомъ дѣлѣ, заряженный кондукторъ электризуетъ препаратъ своимъ вліяніемъ. Одноименное съ зарядомъ кондуктора электричество отталкивается по проводу, а противоположное электричество удерживается въ мускулахъ и нервахъ. Если затѣмъ разрядить кондукторъ, извлекши рукою B изъ него искру, то оттолкнутое электричество возвращается обратно. Препарированная лягушка получаетъ электрическій ударъ (возврат-

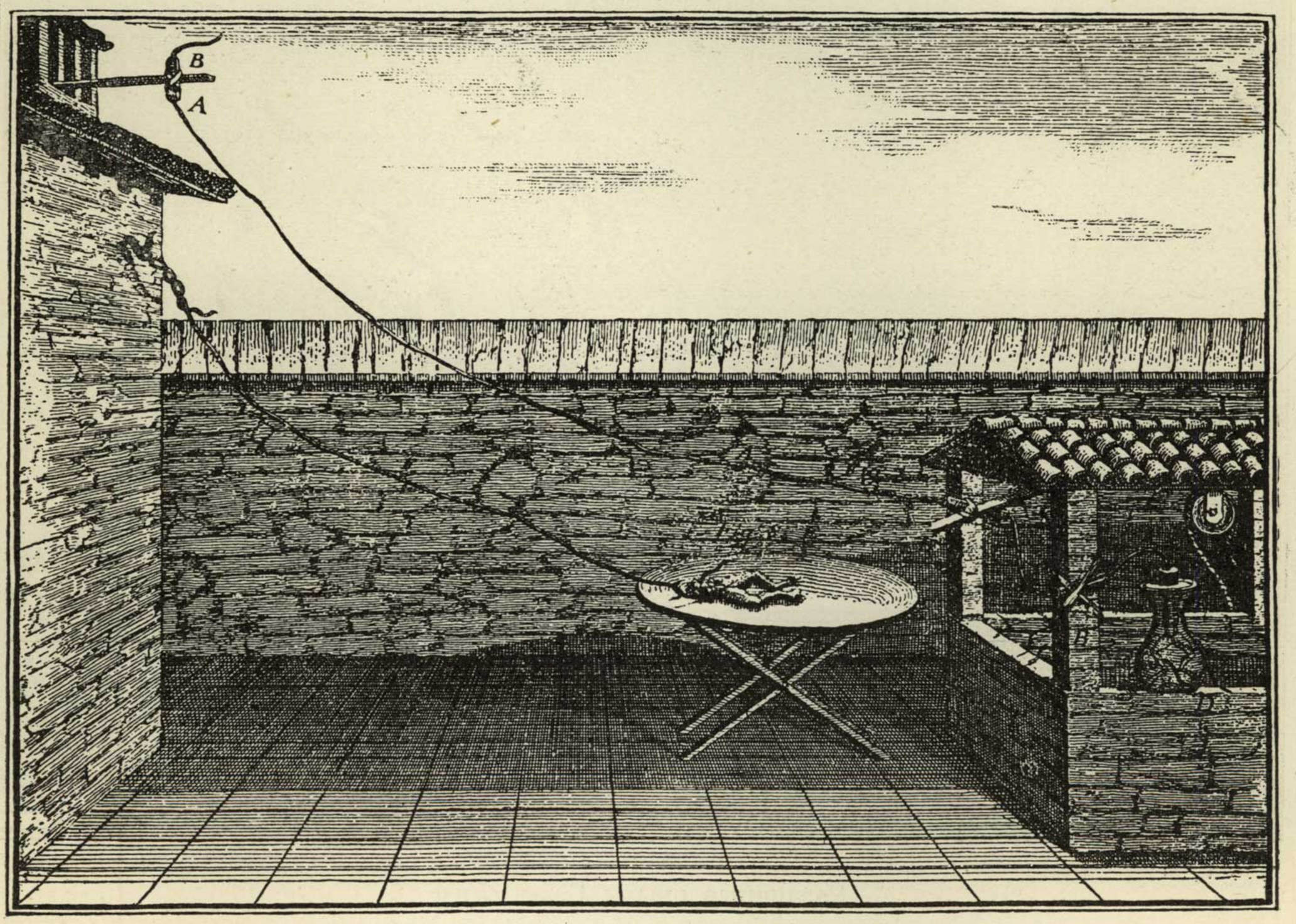
http://matnegis.ru

ный ударъ) и потому производитъ судорожныя движенія. Если препаратъ не сообщенъ съ землею, а изолированъ на столѣ, то электрическая индукція не велика и потому получается лишь слабый возвратный ударъ. Это объясненіе далъ въ 1793 году Вольта.

Гальвани нашелъ, что совершенно безразлично, заряженъ ли кондукторъ положительнымъ или отрицательнымъ электричествомъ.

306. Гальвани старался установить, производитъ ли „естественная“ электрическая искра, т. е. молнія, такое же дѣйствіе, какъ и разрядъ кондуктора электрической машины. Онъ помѣщалъ препарированную лягушку въ банку (*D*, рис. 251). Отъ мускуловъ шла проволока на крышу дома, а отъ нерва въ колодезь. Какъ только вблизи падала молнія, въ препаратѣ замѣчались судороги. Замѣчались въ немъ

Рис. 251



Опытъ Гальвани съ электричествомъ облаковъ.

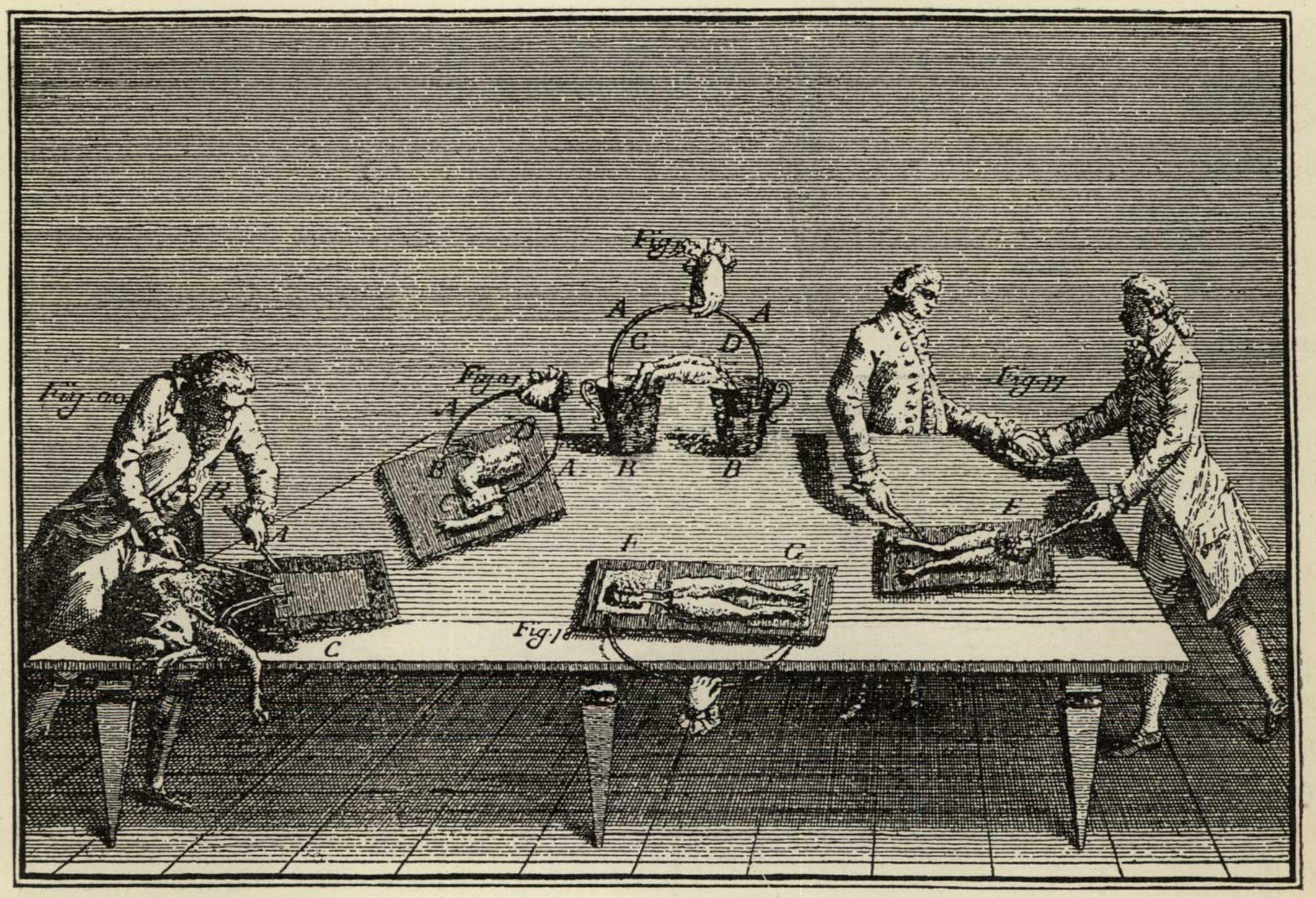
явственныя движенія даже въ тѣхъ случаяхъ, когда электрическое состояніе атмосферы мѣнялось безъ видимаго разряда. Препарированная лягушка была гораздо чувствительнѣе къ слабымъ измѣненіямъ электрическаго состоянія атмосферы, чѣмъ извѣстные въ то время электроскопы (§ 286). Но электроскопъ изъ лягушечьей ножки дѣйствуетъ только тогда, когда измѣняется электрическое состояніе атмосферы. Каково же количество электричества въ атмосферѣ, онъ не показываетъ.

Галъвани сдѣлалъ еще слѣдующее важное наблюденіе. Онъ подвѣсилъ при помощи мѣднаго крючка на желѣзной оградѣ балкона лягушечью ножку съ маленькимъ кусочкомъ спинного мозга (см. рис. 250 слѣва) и замѣтилъ, что мускулы сокраща-

http://matecs.ru

лись каждый разъ, когда касались желѣза, хотя въ электричествѣ воздуха нельзя было замѣтить никакого измѣненія. Несмотря на это Гальвани думалъ, что это явленіе вызывается атмосфернымъ электричествомъ. По его мнѣнію, послѣднее скоплялось въ животномъ и тогда соприкосновеніе съ желѣзомъ вызывало сильный разрядъ. Гальвани повторилъ эти опыты въ своей рабочей комнатѣ, гдѣ препарированная лягушка была положена на желѣзную пластинку. Всякій разъ, когда онъ касался этой желѣзной пластинки мѣднымъ крючкомъ, зацѣпленнымъ за кусокъ спинного мозга, мгновенно возникали сильныя мускульныя сокращенія. Здѣсь атмосферное электричество не могло быть причиной, такъ какъ оно не дѣйствуетъ въ закрытомъ помѣщеніи. Гальвани принялъ за причину

Рис. 252



Различные опыты Гальвани.

этихъ мускульныхъ сокращеній электрическій разрядъ, который получается, когда мускулы и нервы соединяются металлическимъ проводникомъ (желѣзная пластинка и мѣдный крючокъ).

307. Затѣмъ Гальвани старался подтвердить правильность своего допущенія, видоизмѣняя обстановку своихъ опытовъ, какъ это показываетъ рис. 252. На переднемъ планѣ на столѣ лежатъ лягушечьи ножки на желѣзной пластинкѣ. Обнаженный спинной мозгъ лежитъ на кусочкѣ фольги. На рисункѣ видна рука, держащая желѣзный изогнутый стержень. Какъ только мускулъ и нервъ соединяются, получается сокращеніе мускула. Если же соединить ихъ стеклянной палочкой, то мускулъ не двигается.

Справа на рисункѣ видны двое людей, одною рукою касающіеся другъ друга,

http://matnesis.ru

а въ другой рукѣ держащіе желѣзныя палочки, которыми одинъ касается мускула, а другой нерва. И здѣсь получались сокращенія, хотя въ цѣпь включались два человѣческихъ тѣла. Приборъ, изображеніе котораго видно на задней сторонѣ стола, состоитъ изъ двухъ сосудовъ съ водою и препарированной лягушки, мускулы которой погружены въ воду одного сосуда, а нервы въ воду другого. Если погрузить изогнутый въ видѣ дуги металлическій стержень въ воду обоихъ сосудовъ, мускулы начинаютъ сокращаться. Впереди слѣва изображенъ опытъ съ теплокровнымъ животнымъ (ягненкомъ), который удается такъ же хорошо, какъ и опытъ съ лягушкой.

Гальвани все болѣе и болѣе укрѣплялся въ своемъ мнѣніи, что въ этихъ опытахъ проявляется животное электричество. Какъ ему казалось, правильность его мнѣнія доказывалась тѣмъ, что мускульныя сокращенія отчетливо наблюдались лишь на препаратахъ только что умерщвленныхъ животныхъ, въ которыхъ еще сохраняется животное электричество, связанное, конечно, съ жизненными процессами. Онъ, какъ казалось ему, замѣтилъ, что изъ нервовъ къ мускуламъ течетъ рѣдкая жидкость все время, пока происходятъ движенія. Гальвани даже составилъ себѣ опредѣленное представленіе о значеніи мускуловъ и нервовъ для электрическихъ явленій. Онъ думалъ, что каждое мускульное волокно представляетъ маленькую лейденскую банку, а нервы являются проводами между двумя оболочками мускульныхъ волоконъ.

Мы не станемъ вдаваться подробнѣе во множество неясныхъ соображеній, не имѣющихъ теперь значенія, которыя Гальвани высказывалъ относительно значенія своихъ открытій для медицины. Напротивъ того, мы теперь внимательно разсмотримъ одно изъ его наблюденій, которое въ рукахъ Вольты стало исходнымъ пунктомъ открытія высокой важности.

308. Гальвани замѣтилъ, что мускульныя движенія бываютъ особенно сильны, когда проводъ между мускуломъ и нервомъ состоитъ изъ двухъ металловъ, напримѣръ, изъ желѣза и мѣди или изъ желѣза и серебра. Даже въ томъ случаѣ, когда препарированная лягушка была уже настолько несвѣжа, что въ ней нельзя было вызвать движеній мускуловъ при помощи изогнутаго желѣзнаго стержня, эти движенія снова дѣлались очень сильными, если желѣзный стержень касался кусочка мѣди или серебра, наложеннаго на мускулъ или на нервъ. Гальвани не придалъ особаго значенія этому обстоятельству, такъ какъ это явленіе обыкновенно наблюдалось и тогда, когда въ опытѣ употреблялся только одинъ металлъ. Для врача Гальвани главной вещью, поглощавшей весь его интересъ, было животное электричество. Усиленіе дѣйствія при накладываніи мѣднаго или же серебрянаго листочка было для него побочнымъ обстоятельствомъ. Но когда за опыты Гальвани, возбудившіе большое удивленіе въ кругахъ врачей, взялся физикъ Алессандро Вольта, то фактъ, что проводъ между мускуломъ и нервомъ, сдѣланный изъ двухъ металловъ, дѣйствуетъ съ особой силой, пріобрѣлъ важное значеніе. Сначала Вольта также думалъ, что въ опытахъ Гальвани играетъ роль животное электричество, и въ одной статьѣ 1793 года онъ, не соглашаясь съ Гальвани, допускалъ, что нервы заряжены отрицательно, а мускулы положительно.

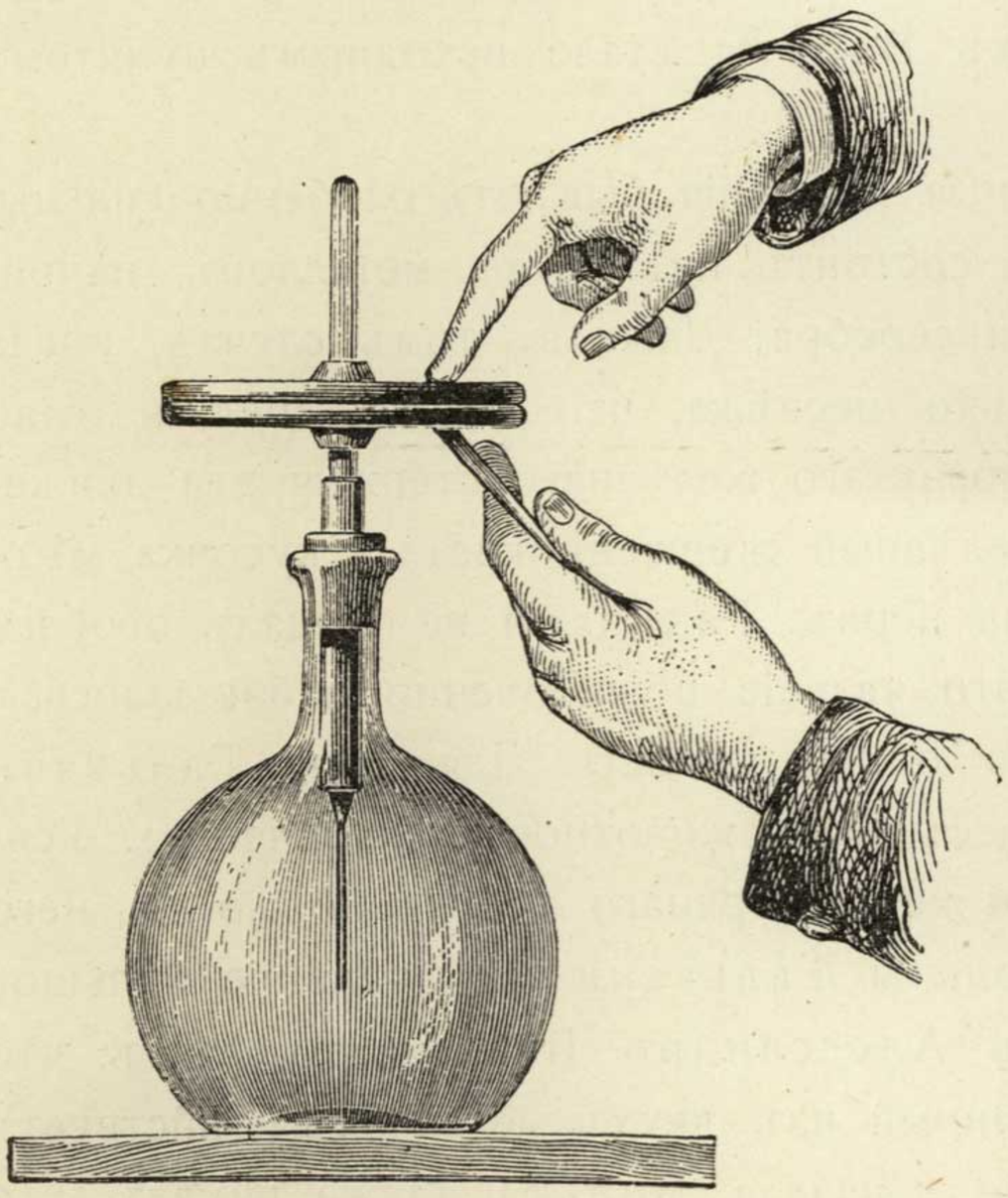
Въ той же статьѣ указываются условія, при которыхъ эти опыты удаются лучше всего, и особенно подчеркивается, что для удачи опыта нужны два различныхъ металла. Съ помощью двухъ различныхъ металловъ Вольта произвелъ также рядъ интересныхъ опытовъ надъ дѣйствіемъ ихъ на вкусовые и зрительные нервы.

http://mathesis.ru

309. Вольта прикасался къ языку листочкомъ фольги и серебряной монетой,— первымъ къ кончику языка, гдѣ чувство вкуса тоньше всего. Соединяя затѣмъ металлической проволокой листочекъ фольги съ серебряной монетой, онъ ощущалъ на кончикѣ языка кисловатый вкусъ, чувствовавшійся все время, пока два металла были соединены проволокой. Перемѣстивъ металлы одинъ на мѣсто другого, онъ почувствовалъ на кончикѣ языка уже не кисловатый, а горьковатый острый вкусъ (щелочной). Вольта догадывался, что изъ этого наблюденія можно извлечь важные выводы. Было въ высшей степени удивительно, что вкусовое ощущеніе мѣнялось съ перемѣной металловъ. Вольта пытался дѣйствовать подобнымъ же образомъ на зрительные нервы. Онъ бралъ серебряную ложку въ ротъ и касался глазного яблока кусочкомъ цинка. Приводя въ соприкосновеніе эти два металла, онъ ощущалъ какое-то слабое мерцаніе. Но наибольшее удивленіе возбудили его опыты съ влажной бумагой, кожей и сукномъ. Когда онъ раздѣлялъ цинковую и мѣдную пластинки влажной бумагой и затѣмъ соединялъ металлы полоской цинка, то обнаруживался переходъ электричества, подобный тому, какой наблюдался въ опытахъ съ органическими препаратами. А, конечно, въ случаѣ бумаги не могло быть рѣчи о животномъ электричествѣ.

310. Тогда Вольта понялъ, что источникомъ электричества является соприкосновеніе двухъ различныхъ металловъ, и въ 1795 году сообщилъ, какимъ образомъ можно обнаружить это электричество при соприкосновеніи при помощи его конденсаціоннаго электроскопа или конденсатора. Этотъ приборъ отличается отъ обыкновеннаго электроскопа тѣмъ, что металлическій стержень, на которомъ висятъ золотые листочки, заканчивается на верхнемъ концѣ не шарикомъ, а металлической пластинкой, на которую можно накладывать другую металлическую пластинку, снабженную стеклянной ручкой (рис. 253). Обѣ пластинки покрыты смолянымъ лакомъ. Такимъ образомъ онѣ образуютъ конденсаторъ. Передъ опытомъ обѣ пластинки соединяются съ землею для того, чтобы можно было быть увѣреннымъ, что онѣ не имѣютъ заряда.

Рис. 253



Конденсаторъ Вольты.

Рис. 253 показываетъ, какъ пользовался этимъ приборомъ Вольта для того, чтобы показать, что различные металлы, напримѣръ, мѣдь (*Cu*) и цинкъ (*Zn*), при соприкосновеніи заряжаются противоположными электричествами. Неподвижная пластинка конденсатора въ этомъ случаѣ была сдѣлана изъ мѣди. Металлическую палочку, наполовину изъ мѣди, наполовину изъ цинка, держатъ въ рукѣ за цинкъ, а мѣднымъ концомъ касаются неподвижной пластинки конденсатора. Послѣдняя получаетъ при этомъ такое же напряженіе, какъ и мѣдь палочки. Если другой рукой

http://mathesis.ru

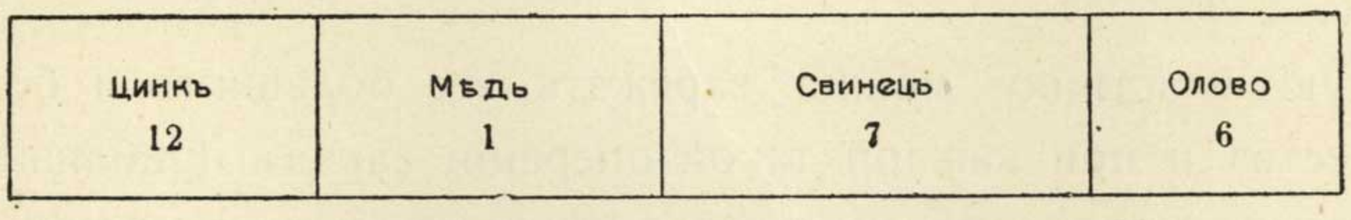
коснуться подвижной пластинки конденсатора, то она получаетъ такое же напряженіе, какъ и цинкъ палочки. Если между двумя металлами палочки существуетъ разность напряженій, то та же разность напряженій получится и на двухъ пластинкахъ конденсатора, — другими словами, конденсаторъ зарядится. До этихъ поръ золотые листочки не шевелились. Но если удалить металлическую палочку и подвижную пластинку, то электричество переходитъ на золотые листочки и они расходятся.

При помощи своего конденсатора, который для одного и того же заряда давалъ одинаковое расхожденіе листочковъ, Вольта могъ производить очень точныя измѣренія. Онъ нашелъ, что въ двухъ соприкасающихся металлахъ происходитъ раздѣленіе электричествъ. Одинъ металлъ электризуется положительно, а другой отрицательно, или, лучше сказать, одинъ изъ нихъ пріобрѣтаетъ бо́льшее электрическое напряженіе, чѣмъ другой. Разность напряженій, получающаяся при соприкосновеніи, различна для различныхъ металловъ. Изъ своихъ опытовъ Вольта получилъ слѣдующія числа напряженій:

цинкъ	12	желѣзо	3
свинецъ	7	мѣдь	1
олово	6	серебро	0

Эти числа означаютъ, что разность напряженій, напримѣръ, между цинкомъ и мѣдью равна $12 - 1 = 11$, между свинцомъ и желѣзомъ $7 - 3 = 4$. Разность напряженій двухъ металловъ, напримѣръ, цинка и олова, не увеличивается и не умень-

Рис. 254



Числа напряженія Вольты.

шается, если между этими двумя металлами помѣстить рядъ другихъ металловъ. Такъ, напримѣръ, если палочка сдѣлана изъ цинка, мѣди, свинца и олова (рис. 254), то разность напряженій между цинкомъ и оловомъ остается всегда одной и той же, а именно 6. Каждый металлъ имѣетъ свое опредѣленное число напряженія.

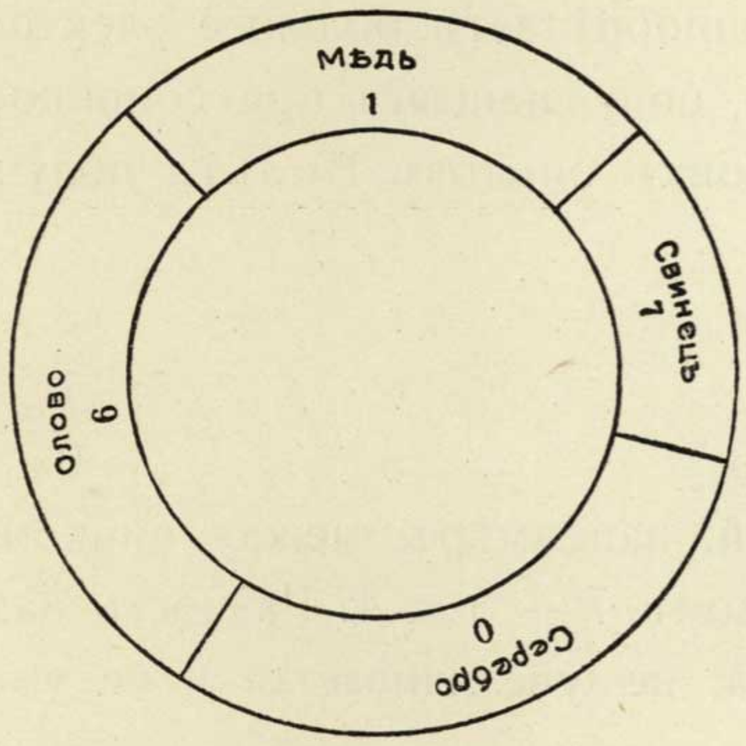
Отсюда слѣдуетъ, что въ замкнутомъ ряду металловъ можетъ получаться не постоянное образованіе электричества вновь, а лишь раздѣленіе электричествъ (рис. 255). Разности напряженій существуютъ, но во всемъ замкнутомъ кольцѣ господствуетъ равновѣсіе.

311. Для наблюденія и измѣренія очень малыхъ количествъ электричества (небольшихъ разностей напряженія) служитъ особый приборъ, дубликаторъ (удвоитель) Беннета (рис. 256). Этотъ конденсаторъ имѣетъ не двѣ металлическія пластинки, какъ обыкновенный, а три, одну неподвижную и двѣ подвижныхъ. Поверхность неподвижной пластинки, обѣ стороны средней и нижняя сторона верхней пластинки покрыты слоемъ лака. Обѣ подвижныя пластинки снабжены изолирующими ручками, а среднюю можно отвести къ землѣ, коснувшись пальцемъ оправы ея ручки. Тѣло, электрическое состояніе котораго изслѣдуется, приводится въ соприкосновеніе съ неподвижнымъ кружкомъ. Если зарядъ очень слабъ, то золотые листочки не расходятся. Затѣмъ средняя пластинка накладывается на неподвижную, прикосновеніемъ

http://mathesis.ru

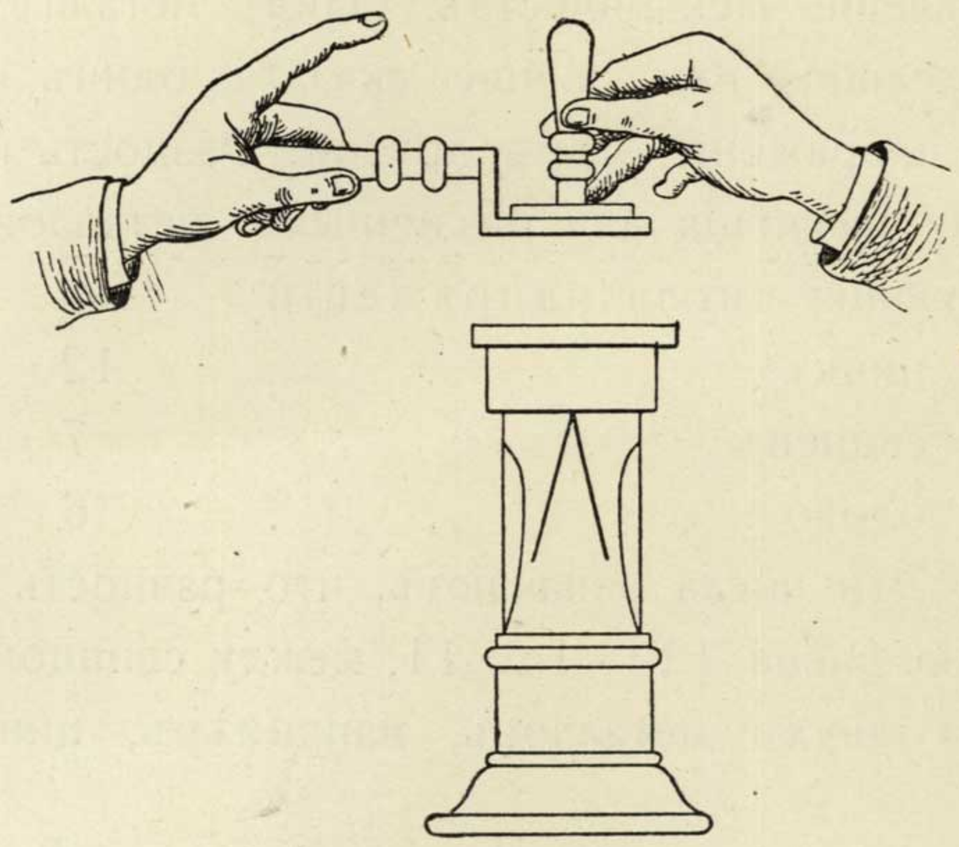
отводится къ землѣ и снимается. Вслѣдъ затѣмъ верхняя пластинка накладывается на среднюю, также отводится прикосновеніемъ къ землѣ и снимается. Теперь верхняя пластинка имѣетъ то же электричество, что и неподвижная. Послѣ этого средняя пластинка снова накладывается на нижнюю, чѣмъ электричество послѣдней связывается. Наконецъ, верхняя пластинка приводится въ соприкосновеніе съ нижней. Она отдаетъ свое электричество послѣдней и вслѣдствіе этого въ средней пластинкѣ получается еще нѣкоторое количество электричества чрезъ вліяніе. Затѣмъ послѣдняя пластинка снова прикосновеніемъ отводится къ землѣ, снимается и т. д. Такимъ путемъ неподвижную пластинку можно заряжать все бо̀льшимъ и бо̀льшимъ количествомъ электричества и при каждой такой операціи зарядъ приблизительно удваивается. Первоначальный зарядъ опредѣляется затѣмъ по числу операцій, которыя нужно было сдѣлать, пока листочки электроскопа не разошлись на измѣримый уголъ.

Рис. 255



Въ замкнутомъ кольцѣ изъ металловъ электричество не возникаетъ.

Рис. 256



Дубликаторъ Беннета.

312. Между тѣмъ не оставались въ бездѣйствіи Гальвани и рядъ другихъ физиковъ, подобно ему не желавшихъ отказаться отъ теоріи животнаго электричества. Они доказали, что мускулы препарированной лягушки приходятъ въ движеніе, если ихъ соединить съ нервомъ непосредственно, безъ содѣйствія металла. Само собой разумѣется, это давало доказательство того, что животное электричество дѣйствительно существуетъ. Но вскорѣ Гальвани и его заслуги были забыты, такъ какъ результаты его изслѣдованій были отодвинуты далеко на задній планъ открытіями Вольты.

Послѣдніе годы своей жизни Гальвани жилъ въ нуждѣ. Его научныя работы не нашли признанія, а когда Наполеонъ въ 1797 году основалъ Цизальпинскую республику, къ которой принадлежала и Болонья, Гальвани былъ лишенъ своего мѣста, такъ какъ отказался принести присягу на вѣрность новому правительству. Правда, въ слѣдующемъ году онъ снова получилъ свое мѣсто, но тѣмъ временемъ онъ впалъ въ меланхолію и умеръ еще въ томъ же году, не успѣвъ возобновить своей преподавательской дѣятельности.

Въ концѣ концовъ Вольта пришелъ къ убѣжденію, что въ животномъ тѣлѣ вообще не происходитъ образованія электричества. Однако, работы позднѣйшихъ изслѣдователей (Нобили, Дюбуа-Реймонъ) подтвердили мнѣніе Гальвани, что

http://mathesis.ru

въ мускулахъ происходитъ образованіе электричества. Однако, имя Гальвани будетъ связано съ открытіемъ электричества при прикосновеніи на вѣчныя времена не столько въ силу этой причины, сколько въ силу того, что Вольта въ 1796 году, слѣдовательно, еще за два года до смерти Гальвани, окрестилъ именемъ Гальванизма электричество при соприкосновеніи. Этимъ онъ хотѣлъ подчеркнуть, что изслѣдованія Гальвани составили исходный пунктъ его собственныхъ наблюденій.

313. 20 марта 1800 года Вольта написалъ свое знаменитое письмо президенту Royal Society, Джозефу Банксу, въ которомъ сообщалъ, что нашелъ постоянно дѣйствующій источникъ электричества, „приборъ, который можно сравнить со слабо

Рис. 257



Гальвани.

заряженной батареей лейденскихъ банокъ, обладающій, однако, тѣмъ свойствомъ, что, будучи разряженъ, онъ мгновенно заряжается снова самъ собою“. Объ устройствѣ прибора онъ писалъ: „я взялъ нѣсколько дюжинъ круглыхъ мѣдныхъ пластинокъ—серебряныя еще лучше—приблизительно въ одинъ дюймъ діаметромъ и такое же число оловянныхъ или, лучше, цинковыхъ пластинокъ. Затѣмъ изъ пористаго матеріала, который можетъ впитывать и удерживать много жидкости (картонъ, кожа), я вырѣзалъ достаточное число кружковъ. Всѣ эти пластинки я расположилъ такимъ образомъ, что металлы накладывались другъ на друга всегда въ одномъ и томъ же порядкѣ и что каждая пара пластинокъ отдѣлялась отъ слѣдующей влажнымъ кружкомъ изъ картона или кожи“.

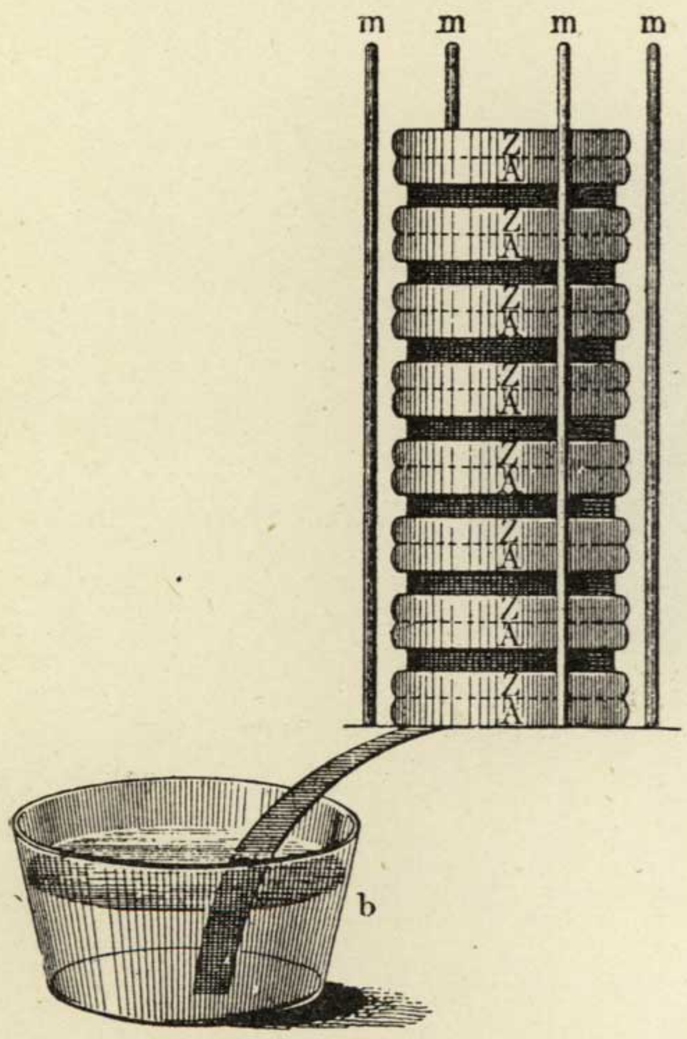
Такой вольтовъ столбъ въ 20 или 30 паръ пластинокъ давалъ замѣтное расхожденіе листочковъ электроскопа, когда послѣдній соединяли металлическою проволокою съ верхней или съ нижней пластинкой. Въ двухъ крайнихъ парахъ пластинокъ одна пластинка заряжалась положительно, другая отрицательно. Когда Вольта касался

http://mathesis.ru

одной рукой верхней пластинки, а другою одновременно самой нижней, онъ получалъ электрическій ударъ, сходный съ тѣмъ ударомъ, который давалъ электрическій угорь. Этотъ столбъ былъ сходенъ съ электрическимъ угремъ и въ томъ отношеніи, что онъ могъ давать цѣлый рядъ электрическихъ ударовъ, а не разряжался отъ одного удара, какъ лейденская банка. Вольта предложилъ назвать этотъ столбъ „искусственнымъ электрическимъ органомъ“.

Не было необходимости въ томъ, чтобы металлическія пластинки были совершенно одинаковой толщины или чтобы онѣ имѣли совершенно гладкую поверхность. Напротивъ, было весьма существенно, чтобы металлическія пластинки хорошо смачивались влажными кружками. Для смачиванія пористыхъ кружковъ былъ особенно удобенъ растворъ поваренной соли. Для полученія сильнаго удара при прикосновеніи къ двумъ концамъ или полюсамъ столба нужно было принимать мѣры къ тому, чтобы соединеніе съ ними было хорошее. Поэтому Вольта опускалъ полоску металла, припаянную къ самой нижней пластинкѣ, въ сосудъ съ соленой водой (рис. 258). Когда онъ погружалъ одну руку въ соленую воду, а другою рукой плотно нажималъ на верхнюю пластинку столба металлической палочкой, то между концами столба получалось хорошее соединеніе и ощущался сильный ударъ.

Рис. 258



Первый столбъ Вольты (*A* серебро, *Z* цинкъ).

314. Вольта сообщалъ въ то же время, что дѣйствіе столба не увеличивается въ замѣтной степени, если дѣлать его изъ пластинокъ бо̀льшаго размѣра. Напротивъ, увеличеніе числа паръ пластинокъ усиливало дѣйствіе. Однако, при очень высокихъ столбахъ ихъ тяжесть представляла неудобство въ томъ отношеніи, что жидкость выжималась изъ пористыхъ кружковъ. Поэтому Вольта предлагалъ въ упомянутомъ письмѣ дѣлить столбъ на части (рис. 259) или же давать ему совершенно иную форму.

Въ этомъ новомъ видѣ столбъ представляетъ собою такъ называемый стаканный приборъ (рис. 260). Въ стеклянныхъ сосудахъ (стаканахъ) содержится растворъ поваренной соли. Въ жидкость погружается рядъ серебряныхъ и цинковыхъ пластинокъ, попарно связанныхъ металлическимъ соединеніемъ, такъ что въ одномъ изъ крайнихъ стакановъ помѣщалась серебряная пластинка, въ другомъ цинковая, а въ каждомъ изъ остальныхъ по серебряной и цинковой пластинкѣ. Этотъ стаканный приборъ отличается отъ столба только тѣмъ, что металлическія пластинки соединяются въ немъ не непосредственно, а при помощи металлическихъ дугъ. Было бы, конечно, нетрудно устроить и непосредственное соприкосновеніе, — взявъ настолько длинныя серебряныя и цинковыя пластинки, чтобы онѣ касались другъ друга. Но Вольта зналъ, что разность напряженій между серебромъ и цинкомъ не измѣняется отъ включенія третьяго металла (ср. § 310).

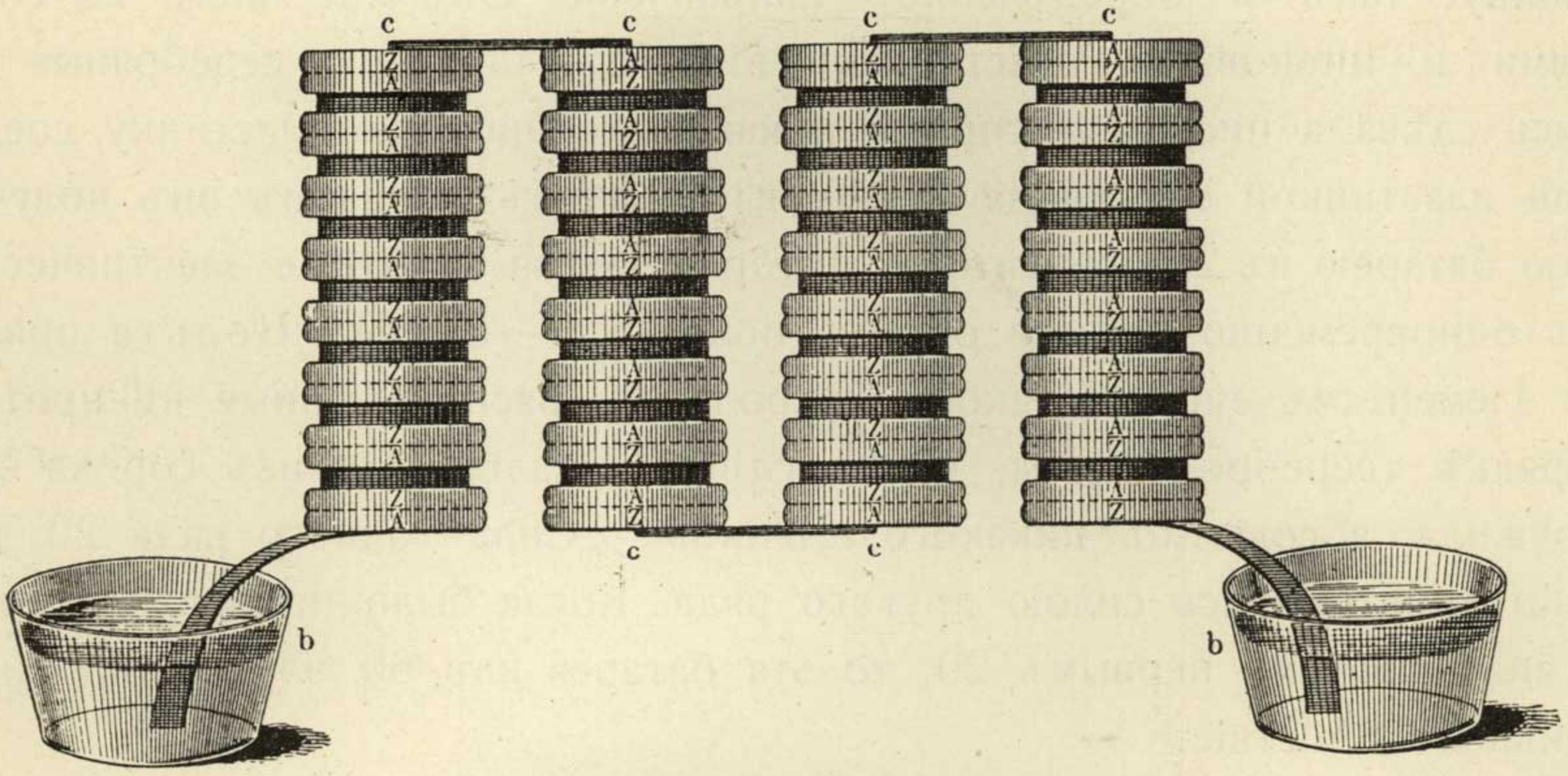
Стаканный приборъ дѣйствуетъ во всѣхъ отношеніяхъ точно такъ же, какъ и столбъ. Двѣ крайнія пластинки имѣютъ противоположные заряды и приборъ дѣйствуетъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ больше число сосудовъ. Вольта нашелъ, что серебро можно замѣнить болѣе дешевой мѣдью, не ослабивъ замѣтно столба (ср. таблицу

http://mathesis.ru

напряженій въ § 310). Такого рода столбы нашли обширное примѣненіе. Въ послѣдующемъ подъ именемъ Вольтова элемента мы будемъ разумѣть сочетаніе мѣдь—жидкость—цинкъ.

315. Вольта объяснялъ дѣйствіе столба слѣдующимъ образомъ. Два металла, соприкасающіеся или связанные другъ съ другомъ третьимъ, пріобрѣтаютъ неодинаковое электрическое напряженіе. Если столбъ состоитъ изъ мѣди и цинка, то первая

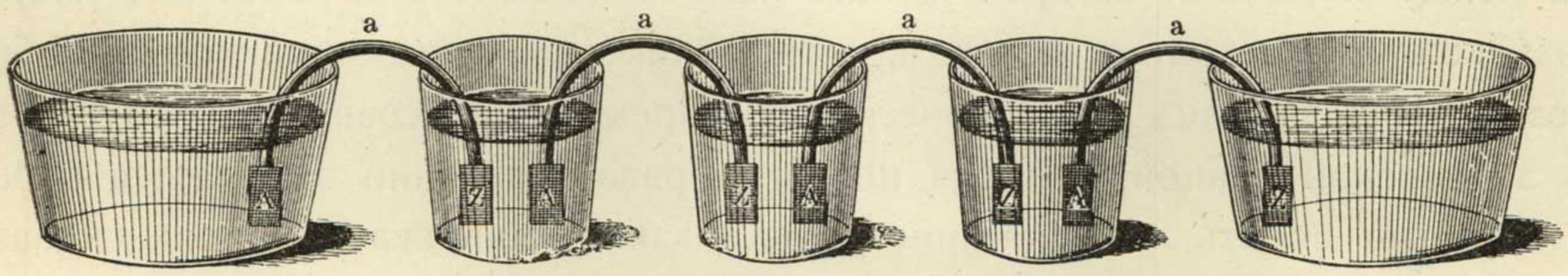
Рис. 259



Раздѣленный столбъ Вольты.

мѣдная пластинка получаетъ напряженіе 1, а первая цинковая 12 (ср. § 310). Переходъ къ слѣдующей парѣ пластинокъ происходитъ по жидкости въ пористомъ кружкѣ и, по допущенію Вольты, подъ дѣйствіемъ послѣдней двѣ металлическія пластинки, раздѣленныя ею, пріобрѣтаютъ одно и то же напряженіе. Такимъ образомъ, онъ

Рис. 260



Стаканный приборъ Вольты (*A* серебро, *Zn* цинкъ).

разсматривалъ жидкость, какъ пассивный проводникъ электричества отъ одной пластинки къ другой, а изъ этого очевидно слѣдовало, что слѣдующая мѣдная пластинка чрезъ соединеніе съ жидкостью получаетъ напряженіе 12. Соприкасаясь съ мѣдной пластинкой, слѣдующая цинковая пластинка въ силу этого получаетъ напряженіе, которое на 11 выше напряженія мѣдной пластинки. Такимъ образомъ ея напряженіе составляетъ $12+11=23$. Подобнымъ же образомъ слѣдующая цинковая пластинка должна получить зарядъ съ напряженіемъ $23+11=34$. Согласно этому расчету десятая цинковая пластинка получаетъ напряженіе $12+11\times 9=111$.—Такимъ образомъ, разность напряженій на полюсахъ столба изъ десяти паръ пластинокъ составляетъ $111-1=110$, т. е. въ 10 разъ превышаетъ разность напряженій на пластинкахъ одной пары, $12-1=11$ (ср. § 310).

Итакъ, Вольта принималъ, что электричество столба производится исключи-

http://mathesis.ru

тельно соприкосновеніемъ различныхъ металловъ. Для обозначенія причины электрическихъ свойствъ столба онъ ввелъ новое названіе. Когда соприкасаются два металла, то въ мѣстѣ соприкосновенія возникаетъ электродвижущая сила, которая перемѣщаетъ электричество въ пластинкахъ такъ, что получается извѣстная разность напряженій, зависящая отъ природы металловъ. Самый столбъ Вольта назвалъ электродвижущимъ органомъ.

Вольта доказалъ опытами, что электродвижущая сила имѣетъ какъ опредѣленную величину, такъ и опредѣленное направленіе. Онъ поставилъ 20 сосудовъ съ серебряными и цинковыми пластинками въ рядъ, такъ что серебряныя пластинки помѣщались слѣва, а цинковыя справа, и каждую цинковую пластинку соединилъ съ серебряной пластинкой слѣдующаго элемента. Такимъ образомъ онъ получилъ гальваническую батарею въ 20 элементовъ, которая давала замѣтные электрическіе удары, когда онъ одновременно касался обоихъ полюсовъ.—Затѣмъ Вольта прибавилъ къ этимъ 20 элементамъ еще 20 такого же рода, но расположенные въ противоположномъ порядкѣ (серебро справа, цинкъ слѣва). Эта батарея изъ сорока элементовъ не обнаружила абсолютно никакого дѣйствія. „Сила“ одного ряда 20 элементовъ совершенно уничтожалась силою другого ряда. Когда было прибавлено еще 20 элементовъ, аналогичныхъ первымъ 20, то эта батарея изъ 60 элементовъ снова обнаружила сильное дѣйствіе.

Итакъ, электродвижущая сила, т. е. сила, перемѣщающая электричество, имѣетъ опредѣленное направленіе и, какъ уже было упомянуто, дѣйствуетъ непрерывно (постоянно). Вольта повторилъ съ этимъ столбомъ опыты надъ дѣйствіемъ электричества на органы чувствъ (§ 309). Взявъ въ руку проволоку отъ одного полюса, а другою проволокою касаясь кончика носа, вѣка или другого чувствительнаго мѣста кожи, онъ чувствовалъ въ этомъ мѣстѣ покалываніе, которое продолжалось, пока проводъ былъ замкнутъ. Тонкая чувствительная кожа представляла часть провода между полюсами батареи и такъ какъ полюсы имѣли различное напряженіе, то сквозь кожу происходилъ разрядъ, который вызывалъ это ощущеніе своеобразнаго покалыванія. И такъ какъ гальваническую батарею нужно сравнивать со слабо заряженной лейденской банкой, которая послѣ разряда постоянно заряжается снова сама собою, то легко понять, что указанное покалываніе продолжается, пока сквозь кожу течетъ „электрическій флуидъ“.

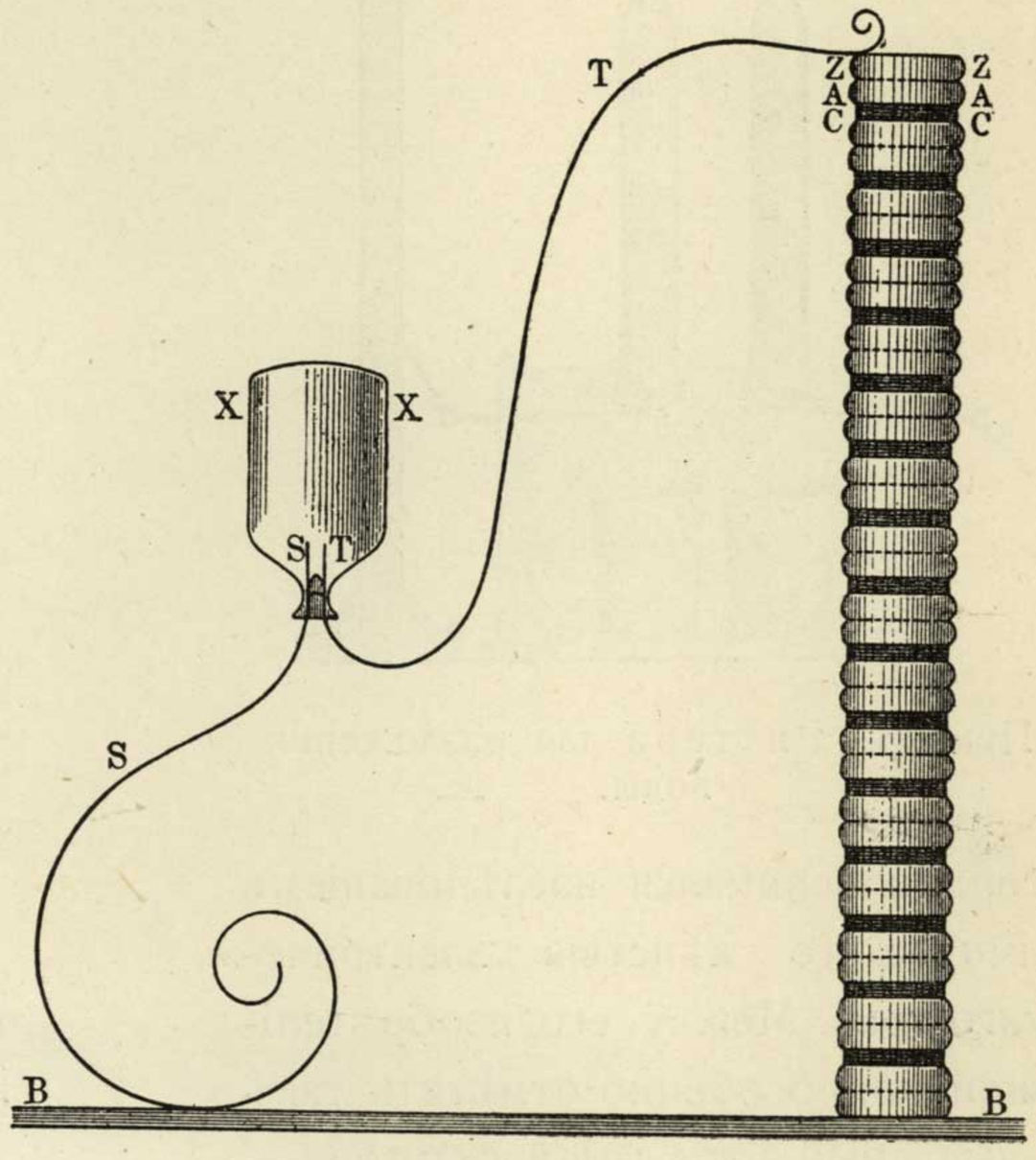
Вскорѣ мы дадимъ болѣе ясныя доказательства того, что между полюсами столба, когда они соединены металлическимъ проводомъ, идетъ непрерывный электрическій токъ. Мы узнаемъ также, что электродвижущая сила происходитъ не отъ соприкосновенія двухъ металловъ, какъ это принималъ Вольта, но что ея причины нужно искать въ соприкосновеніи металловъ съ жидкостью.

316. Еще до того, какъ было прочитано въ Royal Society это знаменитое письмо Вольты, президентъ познакомилъ нѣкоторыхъ членовъ съ его содержаніемъ, между прочимъ также Антони Карлейля (1768—1840), впослѣдствіи знаменитаго хирурга, и его друга, уже упомянутаго раньше (I, § 203) физика Вильяма Никольсона (1753—1815). Эти два ученыхъ стали производить опыты со столбомъ, который состоялъ изъ 17 серебряныхъ монетъ, такого же числа цинковыхъ пластинокъ и смоченныхъ соленою водою кружковъ картона. Они наблюдали, что столбъ этотъ наэлектризованъ, что онъ даетъ слабые электрическіе удары и т. д. Въ одномъ изъ

http://rutracker.org

ихъ опытовъ къ нижней серебряной пластинкѣ столба была припаяна металлическая проволока. Эта проволока была опущена концомъ въ каплю воды, находившуюся на верхней цинковой пластинкѣ. Карлейль замѣтилъ, что, когда токъ замыкался такимъ способомъ, въ каплѣ воды образовывались маленькіе пузырьки газа. Никольсону даже казалось, что онъ чувствуетъ (!) запахъ водорода. Для болѣе точнаго изслѣдованія этого явленія послужило приспособленіе, которое предложилъ Ландріани въ Вѣнѣ. Столбъ стоитъ на металлической пластинкѣ (рис. 261). Съ послѣдней, а, значитъ, и съ нижней пластинкой столба, соединена латунная проволока *S*; отъ верхней пластинки столба идетъ латунная проволока *T*. Обѣ эти проволоки отъ полюсовъ проходятъ сквозь пробку бутылки *X*, опущенной горлышкомъ внизъ и наполненной водою. Въ этой бутылкѣ электрическій токъ отъ проволоки *T* черезъ жидкость передается проволокѣ *S*.—При замыканіи тока на проволокѣ *S* образовывался газъ, который скоплялся въ бутылкѣ и который при болѣе точномъ изслѣдованіи оказался водородомъ. Въ то же время входившій въ бутылку конецъ проволоки *T* окислялся. Такимъ образомъ, электрическій токъ разлагалъ воду на ея составныя части, на водородъ и кислородъ. Первый собирался въ свободномъ состояніи въ бутылкѣ, а послѣдній соединялся съ мѣдью и съ цинкомъ, изъ которыхъ сдѣланы проволоки. Если эти проволоки сдѣланы изъ платины, которая не окисляется, то кислородъ получается въ свободномъ состояніи. Риттеръ (см. § 318) построилъ приборъ для разложенія воды, изображенный на рис. 262. Сквозь стѣнки сосуда въ воду входятъ двѣ платиновыя проволоки. Газы, образующіеся на проволокахъ при замыканіи тока, собираются въ двухъ стеклянныхъ трубкахъ, наполненныхъ водою; при этомъ, какъ видно на рисункѣ, водорода получается вдвое больше, чѣмъ кислорода. Болѣе современная форма прибора для разложенія воды изображена на рис. 263. Проволоки отъ полюсовъ оканчиваются листочками платины, входящими въ стеклянныя трубки.—Разложеніе воды ясно показываетъ, что электрическій токъ продолжается все время, пока полюсы столба соединены между собою проводникомъ.

Рис. 261



Бутылка Ландріани.

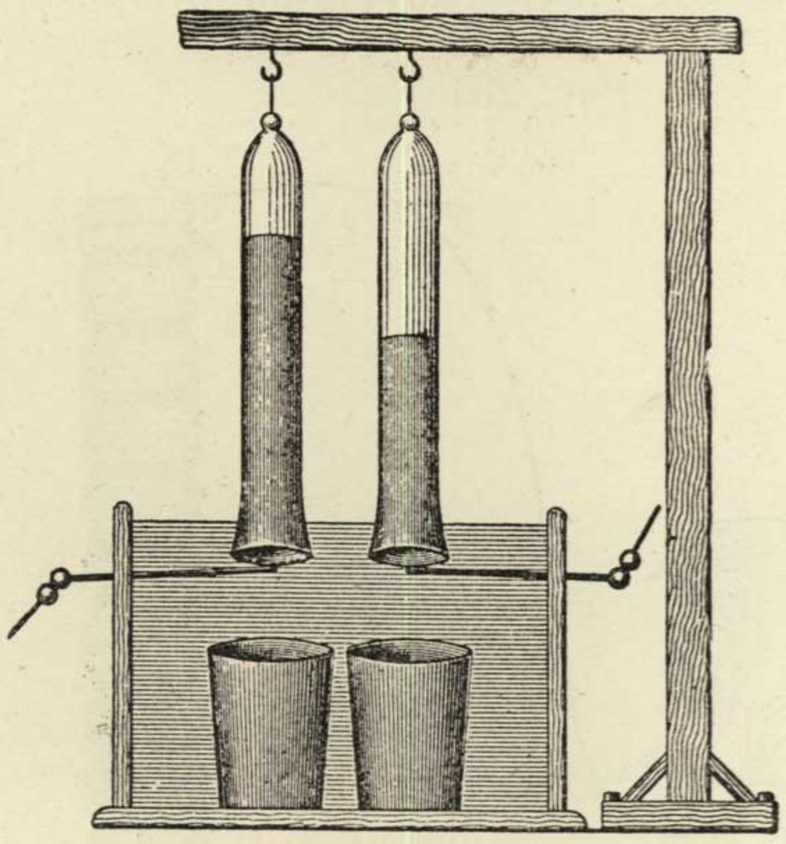
317. Никольсонъ и Карлейль построили также стаканный приборъ и замѣтили, что при замыканіи проводника, идущаго отъ одного полюса къ другому, т. е. при существованіи электрическаго тока, между металломъ и жидкостью что-то происходитъ. Они подмѣтили, что цинковая пластинка окисляется. Въ самомъ дѣлѣ, электрическій токъ идетъ не только по внѣшнему проводу между полюсами,—вмѣстѣ съ тѣмъ онъ идетъ и въ самомъ гальваническомъ элементѣ сквозь его жидкость отъ

http://mathesis.ru

одной пластинки къ другой. Электрическій токъ проходитъ замкнутый циклъ и, проходя сквозь элементъ, разлагаетъ воду на ея составныя части.

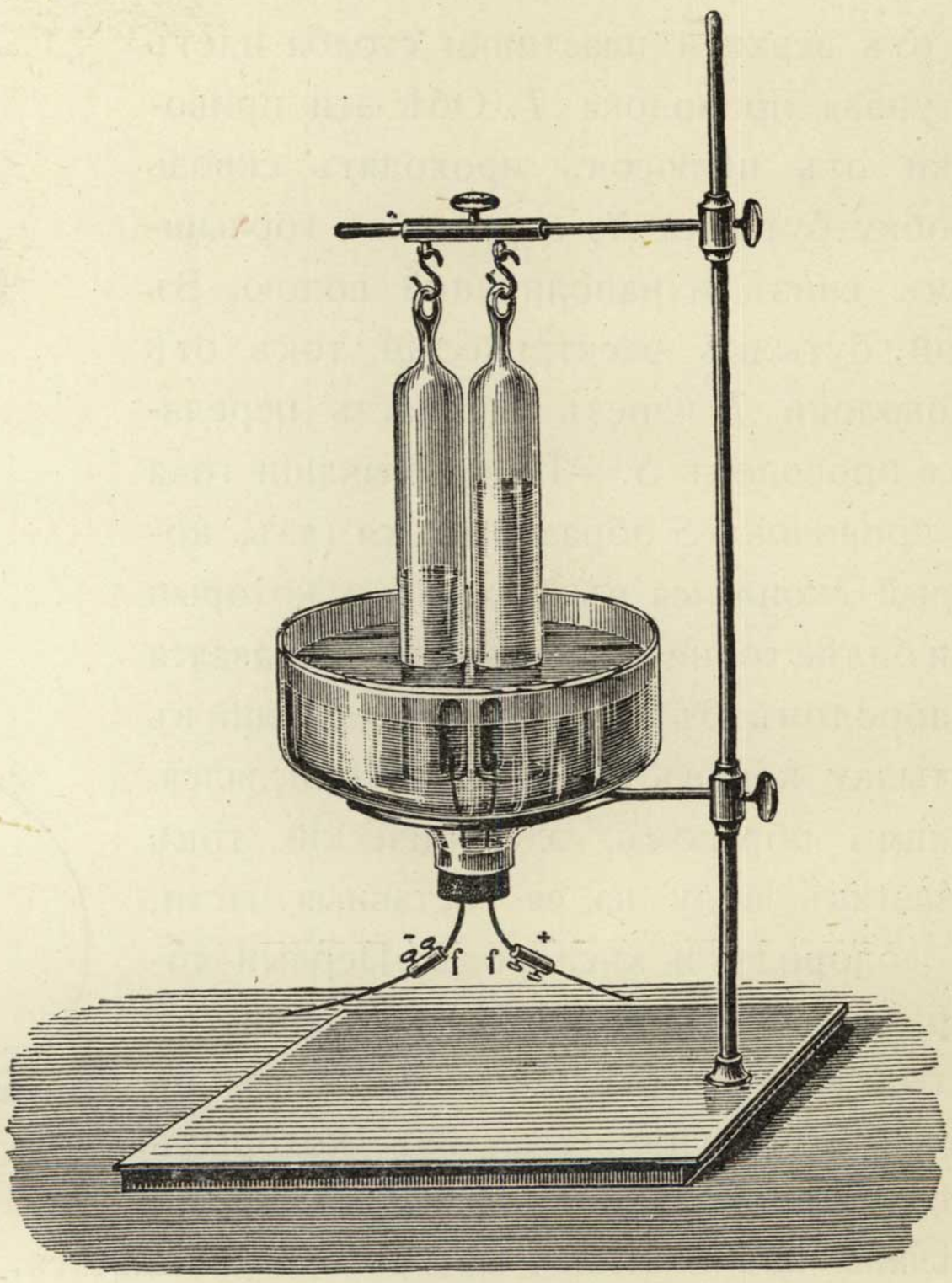
318. Вскорѣ оказалось, что электрическій токъ разлагаетъ не только воду, но и другія жидкости. Риттеру даже казалось возможнымъ, на основаніи его опытовъ, сдѣлать выводъ, что электрическій токъ производитъ разлагающее дѣйствіе на всѣ жидкости. Риттеръ (род. 1776 въ Замицѣ, Шлезія, ум. 1810 въ Мюнхенѣ), другъ Эрстеда,

Рис. 262



Приборъ Риттера для разложенія воды.

Рис. 263



Приборъ для разложенія воды.

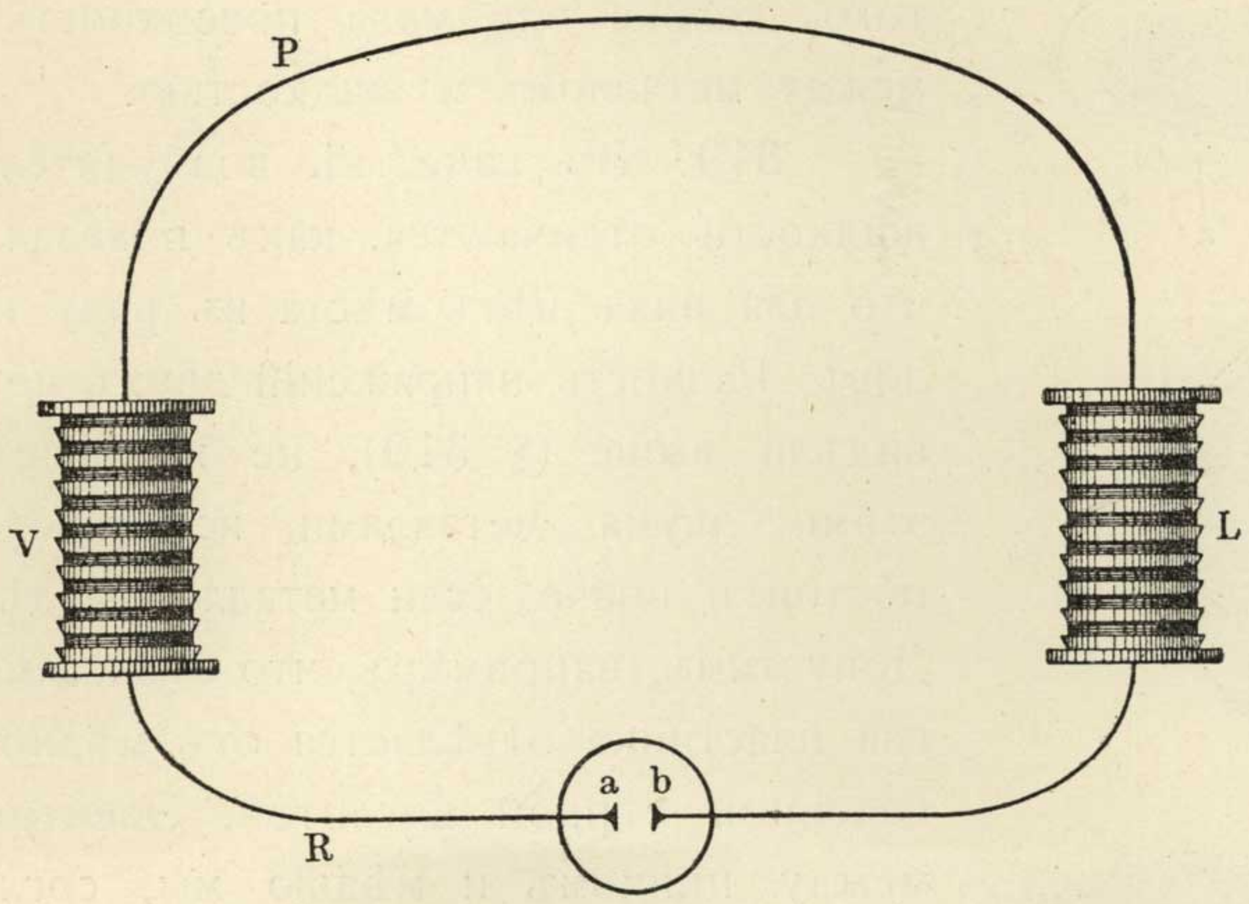
усердно занимался изслѣдованіемъ химическаго дѣйствія электрическаго тока. Между его изобрѣтеніями нужно особенно отмѣтить такъ называемый зарядный столбъ.—Риттеръ исходилъ изъ наблюденія, сдѣланнаго парижскимъ учителемъ музыки Никола Готро (1753—1803), что платиновые полюсы прибора для разложенія воды пріобрѣтаютъ электродвижущую силу послѣ того, какъ токъ дѣйствовалъ въ приборѣ нѣкоторое время. Если прервать токъ и затѣмъ соединить полюсы проводникомъ, то въ послѣднемъ образуется токъ, который Готро замѣтилъ, коснувшись языкомъ проволокъ. Риттеръ нашелъ, что это происходитъ, когда полюсы сдѣланы изъ золота, серебра, мѣди или висмута.—Онъ положилъ кусокъ влажнаго сукна между двумя золотыми монетами и соединилъ проводникомъ каждую изъ нихъ съ однимъ изъ двухъ полюсовъ вольтова столба. Такимъ образомъ, токъ отъ одной монеты шелъ къ другой сквозь кусокъ влажнаго сукна. При перерывѣ затѣмъ тока оказалось, что двѣ монеты вмѣстѣ съ влажнымъ кружкомъ представляли гальваническій элементъ; при этомъ монета, соединявшаяся съ положительнымъ (отрицательнымъ) полюсомъ столба теперь сама представляла положительный (отрицательный) полюсъ. Слѣдовательно, токъ, который давалъ элементъ, составленный изъ двухъ монетъ и влажнаго суконнаго кружка, имѣлъ направленіе, обратное направленію тока въ столбѣ.—Затѣмъ Риттеръ пропустилъ токъ вольтова

http://mathesis.ru

столба черезъ столбъ, состоящій изъ серебряныхъ пластинокъ и влажныхъ суконныхъ кружковъ, вслѣдствіе чего его столбъ „заряжался“. Пластинки были поляризованы и столбъ имѣлъ теперь столько элементовъ, сколько было влажныхъ суконныхъ кружковъ. Электродвижущая сила этихъ элементовъ имѣла направленіе, обратное направленію элементовъ Вольтова столба. Такимъ образомъ этотъ зарядный столбъ представлялъ собою гальваническую батарею. Его называютъ вторичной батареей, такъ какъ его дѣйствіе обусловливается другою батареей, первичной.

Что электродвижущая сила вторичной батареи направлена противоположно электродвижущей силѣ первичной батареи, можно ясно видѣть, если пустить токъ Вольтова столба *V* (рис. 264) одновременно черезъ приборъ для разложенія воды и черезъ зарядный столбъ *L*. Если токъ Вольтова столба даетъ, напримѣръ, водородъ

Рис. 264



Направленіе тока въ зарядномъ столбѣ.

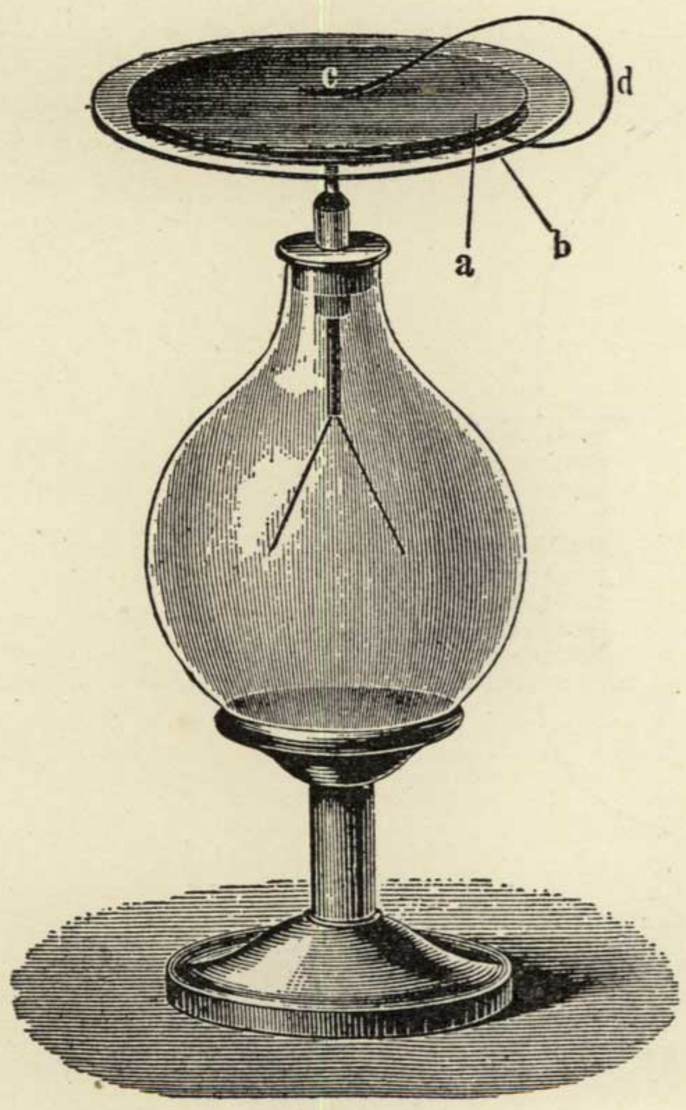
въ *a* и кислородъ въ *b*, то, обратно, въ *a* будетъ получаться кислородъ, а въ *b* водородъ, если выключить Вольтовъ столбъ и соединить проволоки *P* и *R* такъ, чтобы токъ зарядного столба шелъ черезъ приборъ для разложенія воды.

Зарядный столбъ даетъ, впрочемъ, только непродолжительный токъ, такъ какъ его электродвижущая сила быстро истощается. Но откуда происходитъ электродвижушая сила зарядного столба? Риттеръ далъ объясненіе, но оно было невѣрно. Вольта же, получивъ извѣстіе объ опытахъ Риттера, сейчасъ же понялъ связь между этими явленіями. Его объясненіе состояло въ слѣдующемъ: пока токъ идетъ черезъ зарядный столбъ, вода во влажныхъ суконныхъ кружкахъ разлагается на свои составныя части. На одной металлической пластинкѣ образуется кислородъ, а на другой водородъ. Поверхности пластинки становятся, такъ сказать, одна кислородной, а другая водородной. Между ними и самимъ металломъ (и жидкостью) получаются электродвижущія силы, производящія токъ, направленіе котораго противоположно направленію заряжающаго тока. Поэтому, если удалить Вольтовъ столбъ и установить соединеніе проводникомъ между крайними пластинками зарядного столба, то возникнетъ токъ, дѣйствіе котораго дастъ кислородъ на тѣхъ поверхностяхъ, на которыхъ токъ Вольтова столба давалъ водородъ, и наоборотъ. Эти два газа, соединяясь, образуютъ воду и, какъ только газы, въ силу этого процесса, исчезаютъ, утрачивается и электродвижущая сила вторичнаго элемента.

http://mathesis.ru

Существованіе электродвижущей силы заряднаго столба съ очевидностью доказываетъ, что эта сила вызывается не исключительно соприкосновеніемъ металловъ, какъ то принималъ сначала Вольта. Легко показать, что разность напряженій получается также при соприкосновеніи металла съ жидкостью.—На пластинку электроскопа (рис. 265) кладутъ стеклянный кружокъ, а на него пускаютъ нѣсколько капель жидкости. Если соединить затѣмъ пластинку конденсатора и жидкость при посредствѣ проволоки изъ того же металла, что и пластинка, то происходитъ раздѣленіе электричествъ. Жидкость (обыкновенно) заряжается положительно, а металлъ отрицательно. Если удалить соединительную металлическую проволоку, то листочки электроскопа расходятся, получая тотъ же зарядъ, какой получилъ металлъ при соприкосновеніи съ жидкостью. Электродвижущая сила всегда имѣетъ одинаковую величину независимо отъ того, велика или мала поверхность соприкосновенія между металломъ и жидкостью.

Рис. 265



Напряженіе между металломъ и жидкостью.

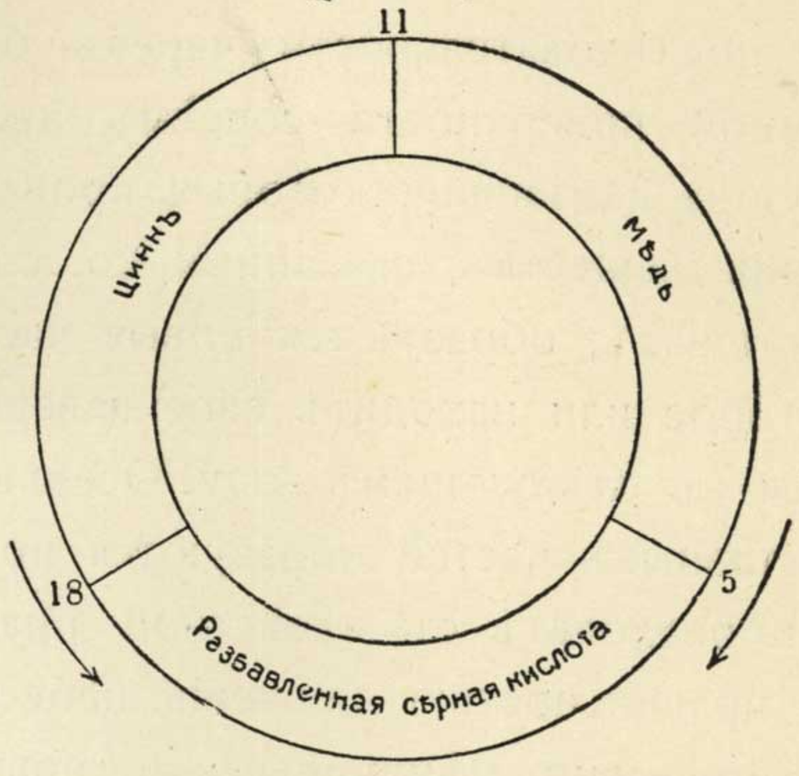
319. Въ качествѣ возбудителей электричества жидкости отличаются, какъ показалъ Вольта, тѣмъ, что для нихъ нѣтъ мѣста въ ряду напряженій металловъ. Разность напряженій двухъ металловъ, какъ мы видѣли выше (§ 310), не измѣняется, когда между этими двумя металлами вставляются другіе. Дѣло обстоитъ иначе, если металлы раздѣлены жидкостью. Допустимъ, напримѣръ, что амальгамированная цинковая пластинка отдѣляется отъ мѣдной пластинки разведенной сѣрной кислотой. Электродвижущую силу между цинкомъ и мѣдью мы, согласно § 310, обозначимъ числомъ 11. Какъ показываетъ стрѣлка на рис. 266, она дѣйствуетъ въ направленіи отъ мѣди къ цинку. Электродвижущая сила между цинкомъ и разведенной сѣрной кислотой равна 18 и дѣйствуетъ по направленію отъ жидкости къ цинку. Электродвижущая сила между мѣдью и разведенной сѣрной кислотой равна 5 и дѣйствуетъ по направленію отъ мѣди къ кислотѣ. Такимъ образомъ, въ гальваническомъ кольцѣ (рис. 266) дѣйствуютъ три электродвижущихъ силы, двѣ (11 и 18) въ одномъ и томъ же направленіи, а третья (5) въ противоположномъ. Въ результатѣ получается сила, равная $11+18-5=24$, которая дѣйствуетъ въ направленіи отъ цинка черезъ жидкость къ мѣди. Эта электродвижущая сила производитъ въ кольцѣ электрическій токъ. Направленіе этого тока есть направленіе, въ которомъ перемѣщается положительное электричество, слѣдовательно, направленіе цинкъ—жидкость—мѣдь—цинкъ.—Если представить себѣ это кольцо разрѣзаннымъ въ мѣстѣ соприкосновенія цинка и мѣди, то получается „открытый гальваническій элементъ“ (рис. 267). Такъ какъ проводникъ здѣсь незамкнутъ, то не можетъ быть и тока, но между цинкомъ и мѣдью получается разность напряженій (напряженіе полюсовъ). Величина напряженія полюсовъ опредѣляется дѣйствіемъ металловъ на жидкость. Между цинкомъ и жидкостью дѣйствуетъ сила 18 въ направленіи стрѣлки (см. рис. 267). Между мѣдью и жидкостью дѣйствуетъ сила 5 въ противоположномъ направленіи. Такимъ образомъ, ре-

http://mathesis.ru

зультирующая сила равна 13 и дѣйствуетъ по направленію цинкъ—жидкость—мѣдь. Такъ какъ при этомъ разсужденіи мы выражали разность электрическихъ напряженій и электродвижущую силу однимъ и тѣмъ же числомъ, то напряженіе полюсовъ открытаго гальваническаго элемента будетъ выражаться числомъ 13.

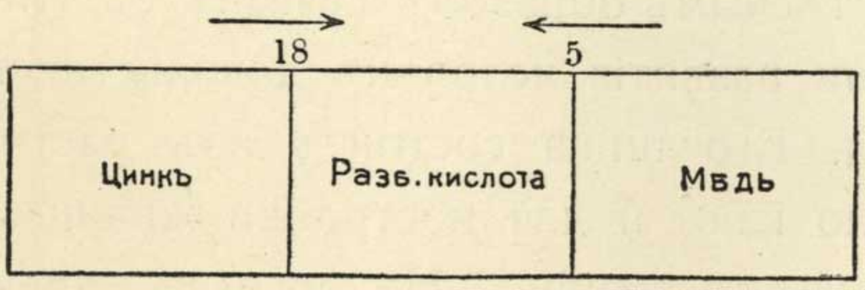
На рис. 268 изображена введенная Вольтой стаканная форма такого элемента. *A'* представляетъ цинковую пластинку, *B* мѣдную, *A* и *D* припаянныя мѣдныя проволоки.—Цинкъ представляетъ отрицательный полюсъ, мѣдь положительный и, такимъ образомъ, какъ только проволоки *A* и *D* соединяются проводникомъ въ видѣ изогнутой металлической палочки, получается электрическій токъ. Когда это происходитъ, то различныя электродвижущія силы получаютъ возможность дѣйствовать и результирующая сила, такъ называемая электродвижущая сила элемента, посылаетъ по замкнутому проводу электрическій токъ въ направленіи стрѣлки (рис. 268). Такъ какъ токъ въ элементѣ идетъ въ жидкости отъ цинка къ мѣди, то во внѣшнемъ проводѣ онъ идетъ отъ мѣди къ цинку. Мѣдь представляетъ положительный, а цинкъ отрицательный полюсъ элемента. Если въ замыкающій проводникъ включить приборъ для разложенія воды, то можно видѣть, что на отрицательномъ полюсѣ получается водородъ („водородъ идетъ вмѣстѣ съ токомъ“). Однако, гальваническій элементъ цинкъ—разведенная сѣрная кислота—мѣдь быстро теряетъ свою силу, такъ какъ металлическія пластинки поляризуются. Токъ идетъ въ жидкости элемента отъ одной пластинки къ другой и вода, содержащая кислоту, разлагается на кислородъ и водородъ. Кислородъ отдѣляется на цинкѣ и окисляетъ послѣдній, а водородъ выдѣляется на мѣдной пластинкѣ. Получается электродвижущая сила, которая имѣетъ направленіе, противоположное направленію первоначальной электродвижущей силы элемента. Первый токъ ослабляется этимъ токомъ противоположнаго направленія и вскорѣ совсѣмъ прекращается. Поэтому стали устраивать элементы, въ которыхъ поляризація пластинокъ устраняется. Но прежде чѣмъ познакомиться съ этими постоянно дѣйствующими элементами, мы должны заняться нѣсколько подробнѣе химическими дѣйствіями электрическаго тока.

Рис. 266



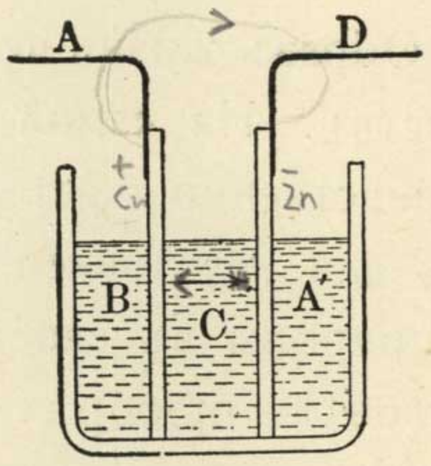
Гальваническое кольцо.

Рис. 267



Открытый элементъ.

Рис. 268



Гальванической элементъ.

http://mathesis.ru

Природа веществъ

320. Большинство веществъ внутри земли и на ея поверхности сложныя, т. е. могутъ быть разложены на разнородныя составныя части.

При разсмотрѣніи состоянія земной поверхности получается совершенно иное впечатлѣніе, чѣмъ при наблюденіи небеснаго свода. Хотя движеніе наблюдается какъ здѣсь, такъ и тамъ, но движенія на небѣ происходятъ равномѣрно: одинъ періодъ времени смѣняется другимъ и одни и тѣ же движенія повторяются въ одной и той же послѣдовательности черезъ одни и тѣ же промежутки времени. Движенія на земной поверхности совсѣмъ иного рода. Правда, и здѣсь мы находимъ большія группы измѣненій, которыя происходятъ, чередуясь равномѣрно,—прежде всего движенія веществъ, связанныя со смѣной временъ года. Весною появляется жизнь въ растеніяхъ; образуются новыя части растеній, продолжающихъ лѣтомъ свое развитіе, которое или находитъ свое завершеніе въ теченіе года или послѣ отдыха продолжается въ слѣдующемъ году. Осенью части растеній опадаютъ и разрушаются; изъ ихъ составныхъ частей образуются новыя вещества и т. д.—Хотя эти движенія вещества и происходятъ съ извѣстной правильностью, но эту правильность нельзя сравнить съ правильностью движеній небесныхъ тѣлъ. На поверхности земли мы наблюдаемъ безпрерывно мѣняющееся и, повидимому, лишенное правильности движеніе. Кромѣ обмѣна веществъ въ живыхъ или органическихъ тѣлахъ природы, мы замѣчаемъ безчисленныя движенія веществъ въ безжизненныхъ или неорганическихъ тѣлахъ. Воздухъ и вода производятъ измѣненія различнаго рода и многія вещества дѣйствуютъ другъ на друга такъ, что они распадаются на свои составныя части, а эти послѣднія даютъ новыя соединенія.

321. Образъ жизни человѣка самымъ тѣснымъ образомъ связанъ съ этимъ обмѣномъ веществъ. На самой низшей ступени развитія человѣкъ довольствуется тѣмъ, что непосредственно даетъ сама природа. Его пища состоитъ изъ растительныхъ веществъ, а для изготовленія одежды, равно какъ и для постройки жилищъ служатъ продукты природы въ своемъ естественномъ состояніи.—Но уже съ древнѣйшихъ временъ человѣкъ пріобрѣлъ въ огнѣ средство для переработки природныхъ продуктовъ въ надлежащій видъ. Съ помощью огня приготовляется животная пища, съ помощью огня получаются изъ рудъ металлы, изъ которыхъ, опять-таки при помощи огня, изготовляются инструменты и оружіе.

Такимъ образомъ, человѣкъ съ теченіемъ времени знакомился съ различнаго рода превращеніями, которымъ подвергаются природныя тѣла при надлежащей обработкѣ. Наблюденіе этихъ явленій долгое время было чисто случайнымъ и мало сознательнымъ. Но въ концѣ концовъ поняли, что въ основѣ разнообразныхъ явленій обмѣна веществъ лежитъ опредѣленная закономѣрность. Послѣ долгаго, безсистемнаго нащупыванія пришли къ научному изслѣдованію и въ области непостоянныхъ явленій природы. Разумѣется, изслѣдованіе правильно происходящихъ явленій природы, т. е. движеній небесныхъ тѣлъ, должно было предшествовать этому.

322. Наука, задача которой состоитъ въ изслѣдованіи свойствъ веществъ и законовъ взаимодѣйствія ихъ другъ на друга, называется химіей. Названіе это было въ употребленіи уже въ IV вѣкѣ по Р. Х. и, по всей вѣроятности, египетскаго про-

http://mathesis.ru

исхожденія. „Хми“ есть древнее туземное названіе самого Египта и означаетъ „Черная земля“ [1]). Греки и римляне знали химію, какъ собственно египетское „искусство“.

Изъ всѣхъ культурныхъ народовъ древности египтяне обладали наибольшими познаніями въ химіи. Они умѣли съ помощью огня производить многочисленныя превращенія веществъ, а египетскіе жрецы обладали надежными способами химическихъ работъ, не имѣя никакихъ свѣдѣній, однако, о причинахъ и о связи этихъ явленій. Химія была у нихъ ремесленнымъ искусствомъ, которое во многихъ отдѣльныхъ отрасляхъ достигло высокой степени совершенства. Они знали металлы: золото, серебро, мѣдь, желѣзо и свинецъ, а также сплавы мѣди съ оловомъ и цинкомъ, такъ называемыя бронзы, которыя служили для приготовленія оружія, орудій и украшеній. Египтяне дѣлали стекло, какъ безцвѣтное, такъ и цвѣтное, и обжигали глиняные сосуды съ цвѣтной глазурью. Они приготовляли мыло и обладали многочисленными красящими веществами, которыя изготовлялись фабричнымъ образомъ. У египетскихъ жрецовъ, безъ сомнѣнія, были химическія лабораторіи, гдѣ добывались названныя вещества, лекарства, консервирующія средства, служившія для бальзамированія труповъ, и другіе препараты. Въ гробницахъ мумій нашли также папирусные свитки съ химическимъ текстомъ, которые хранятся въ библіотекѣ Лейдена. Отъ египтянъ „искусство превращенія“ узнали и остальные народы Средиземнаго моря, сначала финикіяне и евреи, позже греки; греческіе же мудрецы во время своего пребыванія въ Египтѣ, несомнѣнно, пріобрѣли отъ жрецовъ болѣе точныя знанія и въ этой области.

323. Химическое искусство не пошло у грековъ по пути дальнѣйшаго экспериментальнаго развитія. То, съ чѣмъ греческіе мудрецы познакомились въ Египтѣ, послужило имъ исходнымъ пунктомъ для умозрѣній относительно природы матеріи вообще.

Древніе греческіе философы старались объяснить сущность вещей допущеніемъ, что существуетъ основное вещество, изъ котораго построена вся вселенная.

Ѳалесъ изъ Милета считалъ этимъ первичнымъ веществомъ воду. Это воззрѣніе вело свое начало, конечно, отъ болѣе древнихъ культурныхъ народовъ, вся культура которыхъ была связана съ оплодотворяющимъ дѣйствіемъ воды большихъ рѣкъ: Гоанго, Евфрата, Ганга, Нила. Взглядъ, что вода есть первичное вещество, былъ основанъ на наблюденіи, что вода необходима для обмѣна веществъ въ тѣлахъ органической природы. Однако, скоро должны были прійти къ убѣжденію, что выборъ воды первичнымъ веществомъ былъ довольно произволенъ. Анаксимандръ (610—545 до Р. Х.), послѣдователь Ѳалеса въ іонійской школѣ, отвергъ представленіе о водѣ, какъ о первичномъ веществѣ, и на мѣсто ея поставилъ неопредѣленное вещество. Анаксименъ (около 550 г. до Р. Х.), напротивъ, видѣлъ первичное вещество въ воздухѣ. „Когда воздухъ сгущается, получается вода и земля, а когда воздухъ разрѣжается, получается огонь; такимъ образомъ, всѣ вещества образуются изъ воздуха“.—Здѣсь мы видимъ начало ученія о четырехъ элементахъ или стихіяхъ: воздухѣ, водѣ, огнѣ и землѣ; но простая погоня за единымъ принципомъ относительно природы матеріи сама по себѣ не вела еще къ дѣйствительному знанію.

---

[1]) Быть можетъ, правильнѣе производить греческое слово *χημία* отъ слова *χυμός*, сокъ растеній. *Прим. пер.*

http://mathesis.ru

То же самое относится и къ математическимъ разсужденіямъ Пиѳагорейцевъ. По ихъ мнѣнію въ строеніи вселенной проявляются пять правильныхъ геометрическихъ тѣлъ. Воздухъ состоитъ изъ октаэдровъ, вода изъ икосаэдровъ, огонь изъ тетраэдровъ и земля изъ гексаэдровъ. Пятое правильное тѣло, додекаэдръ, съ многими гармоническими отношеніями своихъ пятиугольниковъ, было символомъ вселенной. Для умозрѣній здѣсь открывалось широкое поле, но даже самыя геніальныя разсужденія въ этой области остаются безплодными, если они не подтверждаются явленіями природы. Особенно отчетливо эта мысль выступаетъ при сравненіи идей Анаксагора и Демокрита съ современными представленіями о свойствахъ вещества.

Анаксагоръ (около 450 до Р. Х.) былъ родомъ изъ Клазоменъ въ Малой Азіи, но работалъ преимущественно въ Аѳинахъ. Къ его ученикамъ и друзьямъ принадлежали Сократъ, Периклъ и Фидій. Анаксагоръ былъ обвиненъ въ безбожіи, такъ какъ училъ, что солнце есть раскаленный камень, бо̀льшій, чѣмъ Пелопоннесъ, и избѣжалъ смертной казни только потому, что за него вступился Периклъ. Отъ его книги „О природѣ“ сохранились отдѣльные отрывки. Онъ считалъ заблужденіемъ мысль, что вещество можетъ быть создано или уничтожено или „превращено“. Всѣ явленія въ природѣ состоятъ въ обмѣнѣ, соединеніи и отдѣленіи отдѣльныхъ веществъ. Всѣ тѣла состоятъ изъ невидимыхъ частицъ, которыя остаются неизмѣнными и существуютъ въ безконечномъ числѣ. Онѣ отличаются другъ отъ друга формой, цвѣтомъ и вкусомъ. Первоначально онѣ были разбросаны безпорядочно, случайно. И міръ образовался изъ нихъ вслѣдствіе проявленія въ нихъ „духа“ (т. е. движущаго начала), благодаря которому въ вещественномъ мірѣ наступило господство порядка и закономѣрности.

Яснѣе высказывается относительно этого вопроса современникъ Анаксагора, Демокритъ изъ Абдеры. Онъ былъ, судя по древнимъ свѣдѣніямъ, человѣкомъ много странствовавшимъ, который во время путешествій пріобрѣлъ обширныя познанія. По своемъ возвращеніи онъ написалъ очень много книгъ. Въ глазахъ своихъ современниковъ онъ стоялъ высоко и, когда умеръ, 100 лѣтъ отъ роду, онъ былъ погребенъ на общественный счетъ. Большое вліяніе оказалъ на него его учитель Левкиппъ, который принялъ существенное участіе и въ обоснованіи выставленнаго Демокритомъ атомнаго ученія. По этой теоріи вселенная состоитъ изъ пустого пространства и изъ безконечнаго множества невидимыхъ, неуничтожаемыхъ и недѣлимыхъ маленькихъ тѣлецъ, атомовъ (греческое слово atomos означаетъ „недѣлимый“). Эти атомы имѣютъ различный видъ. Когда они соединяются, то образуется вещество, когда же они снова отдѣляются другъ отъ друга, вещество распадается. Измѣненія вещественнаго міра, такимъ образомъ, равнозначны движеніямъ атомовъ, причиной же этихъ движеній по Демокриту является сила, которой обладаютъ сами атомы.

Демокритъ такъ же, какъ и Анаксагоръ, считалъ вещество вѣчнымъ и количество его неизмѣннымъ, но въ противоположность Анаксагору принималъ, что атомы различаются только формой. Считая, что сила, дѣйствующая между атомами, есть нѣчто, принадлежащее природѣ самихъ атомовъ, Демокритъ этимъ приближался къ современному положенію, что „количество силы“ (или количество энергіи), несмотря на всѣ измѣненія въ вещественномъ мірѣ, неизмѣнно.

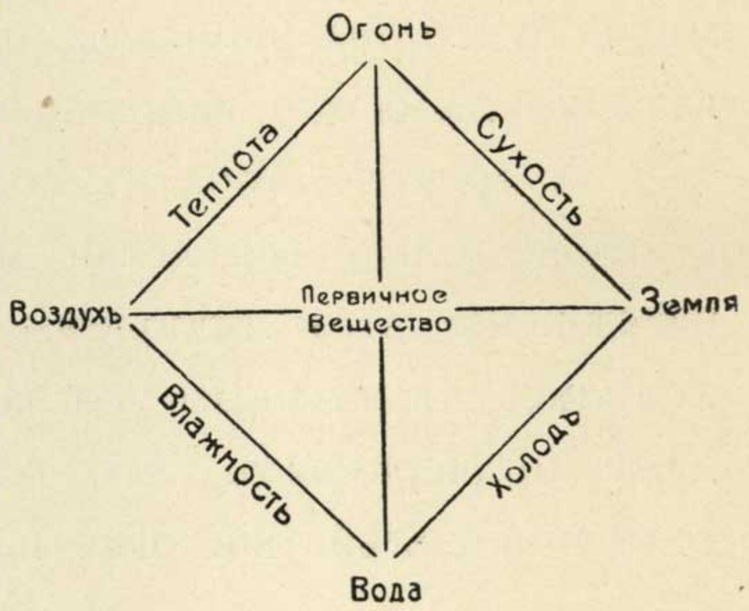
Атомное ученіе Демокрита представляетъ блестящій примѣръ того, что̀ были въ

http://mathesis.ru

состояніи сдѣлать греки благодаря ясному мышленію. Онъ построилъ теорію, которая была подтверждена экспериментальными изслѣдованіями нашихъ дней. Но исторія этого атомнаго ученія указываетъ намъ вмѣстѣ съ тѣмъ, что само по себѣ величественное зданіе умозрѣнія не становится путеводной звѣздой для науки, если это зданіе не покоится на прочно установленномъ опытами фундаментѣ. Атомное ученіе Демокрита не стало сейчасъ же путеводителемъ для тѣхъ, кто стремился выяснить природу химическихъ явленій. Ученіе это продолжало жить только у философовъ, а послѣдніе замѣтнаго вліянія на развитіе химіи вовсе не оказали.

324. Ученіе о четырехъ элементахъ, возникшее у халдеевъ, было развито дальше Аристотелемъ, великимъ систематикомъ древности. Пустого пространства Аристотель не признавалъ. Онъ, наоборотъ, принималъ, что все пространство заполнено веществомъ. Первичное вещество, говоритъ онъ, не имѣетъ никакихъ свойствъ, напротивъ, четыре элемента: огонь, воздухъ, земля и вода, являются носителями четырехъ свойствъ: тепла, холода, сухости и влажности. Огонь (рис. 269) тепелъ и сухъ, воздухъ тепелъ и влаженъ, земля суха и холодна, вода влажна и холодна. Элементы могутъ переходить одинъ въ другой. Если отнять у воздуха тепло, то онъ переходитъ въ воду, если землѣ придать тепло, то она переходитъ въ огонь и т. д. Изъ огня, воздуха, земли и воды состоятъ всѣ вещества и эти элементы могутъ быть получены разложеніемъ веществъ. Элементы же сами не могутъ быть разложены.— У халдеевъ былъ еще пятый элементъ, эѳиръ, который проникаетъ всѣ тѣла. Аристотель также включилъ эѳиръ въ свою систему. Земля, говорилъ онъ, есть тяжелый элементъ, огонь — легкій; между ними находятся вода и воздухъ; вещества устремляются внизъ къ землѣ, если въ нихъ преобладаетъ тяжелый элементъ; если же въ нихъ преобладаетъ легкій элементъ, то они устремляются вверхъ къ небу, состоящему изъ пятаго элемента (quinta essencia), эѳира.

Рис. 269



Четыре элемента.

Тѣла, которыя тяжелѣе воды, содержатъ, по Аристотелю, землю; тѣла, которыя легче воды, содержатъ воздухъ; горючія тѣла содержатъ огонь и т. д. Вообще, вещество состоитъ изъ нѣсколькихъ элементовъ, которые соединены въ одно цѣлое, подобно тому, какъ соединяются въ одно цѣлое буквы слога. Отдѣльныя вещества существенно не отличаются другъ отъ друга, но состоятъ изъ однихъ и тѣхъ же элементовъ. Одно вещество можетъ переходить въ другое, замѣняя одинъ изъ своихъ элементовъ другимъ.—Превосходнымъ средствомъ для производства такихъ превращеній служитъ огонь (тепло). Процессы плавленія, замерзанія, испаренія и конденсаціи принадлежатъ къ тѣмъ превращеніямъ, которыя легко объясняются согласно рис. 269. Земля становится водой, если сухость замѣняется влажностью, вода становится воздухомъ, если холодъ замѣняется теплом, и т. д.

325. Когда Александрія сдѣлалась средоточіемъ греческой науки, греки мало по малу стали знакомиться съ химическимъ искусствомъ. Александрійскій музей находился въ тѣсномъ общеніи съ сословіемъ египетскихъ жрецовъ, и древнеегипетская культура усердно изучалась учеными музея.—Въ области химіи, искусства превращеній, особенно усердно занимались превращеніями металловъ. Египтяне нашли,

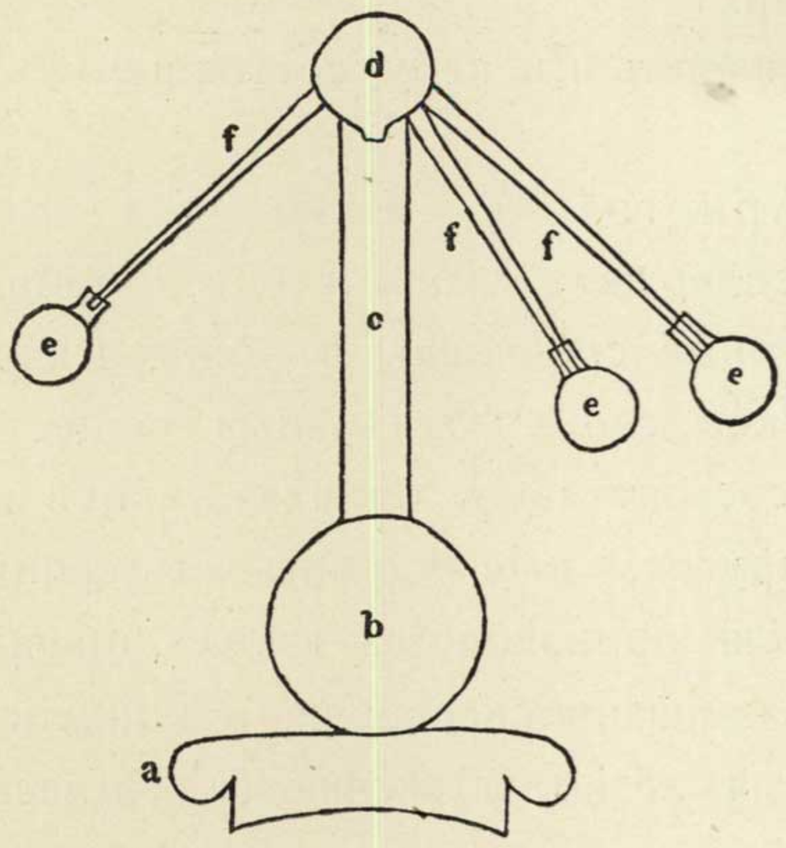
http://mathesis.ru

что при сплавленіи двухъ металловъ получаются новые металлы, иногда значительно отличающіеся отъ первоначальныхъ. Далѣе, они сдѣлали наблюденіе, что одинаковыя на видъ мѣдныя руды при выплавкѣ могутъ дать весьма различные металлы. Казалось, будто превращенія происходятъ во время процесса плавки. Тотъ фактъ, что изъ свинца при плавленіи его на воздухѣ получались иногда крупинки серебра, былъ извѣстенъ древнимъ и подкрѣплялъ ихъ вѣру въ возможность превращенія металловъ. Для тѣхъ, кто не подозрѣвалъ, что еще до обработки свинца серебро содержалось въ немъ, но кто былъ уже проникнутъ вѣрой въ превращающую силу огня, подобное явленіе имѣло большую важность, особенно потому, что здѣсь дѣло шло о превращеніи неблагороднаго металла въ благородный. Что же касается золота, то было извѣстно, что минералъ, сходный по окраскѣ съ золотомъ (аурипигментъ), при сгораніи иногда оставляетъ небольшое количество золота.

Ученіе о превращеніи металловъ—древняго происхожденія. Миѳы, записанные въ III вѣкѣ по Р. Х., разсказываютъ, что Гермесъ Трисмегистосъ (трижды величайшій) былъ первымъ, кто училъ людей искусству превращенія. Подъ этимъ Гермесомъ, по которому химія получила названіе „Гермесова искусства“, слѣдуетъ понимать, по всей вѣроятности, Тота, египетскаго бога науки. По преданію этотъ Гермесъ будто бы написалъ много книгъ о превращеніи металловъ и всегда существовалъ кругъ особо избранныхъ людей, посвященныхъ въ его откровенія.

У грековъ вѣра въ возможность превращенія металловъ нашла свободный доступъ не только вслѣдствіе матеріальныхъ выгодъ, которыя могло имѣть впослѣдствіи разрѣшеніе этой проблемы, но также и потому, что древнеегипетскія преданія находились въ полномъ согласіи съ ученіемъ Аристотеля. Аристотель особенно даже подчеркивалъ, что одно вещество можетъ быть превращено въ другое вещество при содѣйствіи огня или другого элемента. Первичное вещество, общее всѣмъ, было одно, различны были только смѣси элементовъ.—Въ научномъ отношеніи, такимъ образомъ, ничто не противорѣчило ученію о превращеніи металловъ. Оно перешло отъ грековъ къ арабамъ, отъ послѣднихъ къ западно-европейскимъ народамъ и держалось въ теченіе всѣхъ среднихъ вѣковъ, вплоть до новѣйшаго времени.

Рис. 270



Александрійскій перегонный приборъ.

326. Что касается практическаго выполненія превращенія металловъ, то въ этомъ отношеніи ни о какомъ другомъ пути не могло быть рѣчи, какъ только объ опытномъ. Поэтому стали дѣлать массу опытовъ, но въ высшей степени безпорядочныхъ. Не было никакой надежной путеводной нити. Аристотелевское ученіе не давало никакихъ руководящихъ указаній. Лучше, во всякомъ случаѣ, были египетскія предписанія, особенно тѣ, которыя касались примѣненія тепла (огня) при химическихъ операціяхъ.

У насъ имѣются свѣдѣнія о химическихъ приборахъ и способахъ работъ, относящіяся къ IV и V вѣкамъ по Р. Х. Именно, отъ трехъ александрійцевъ: Зосимы изъ Панополиса, епископа Синезія изъ Птолемаиды и Олимпіадора, прозваннаго

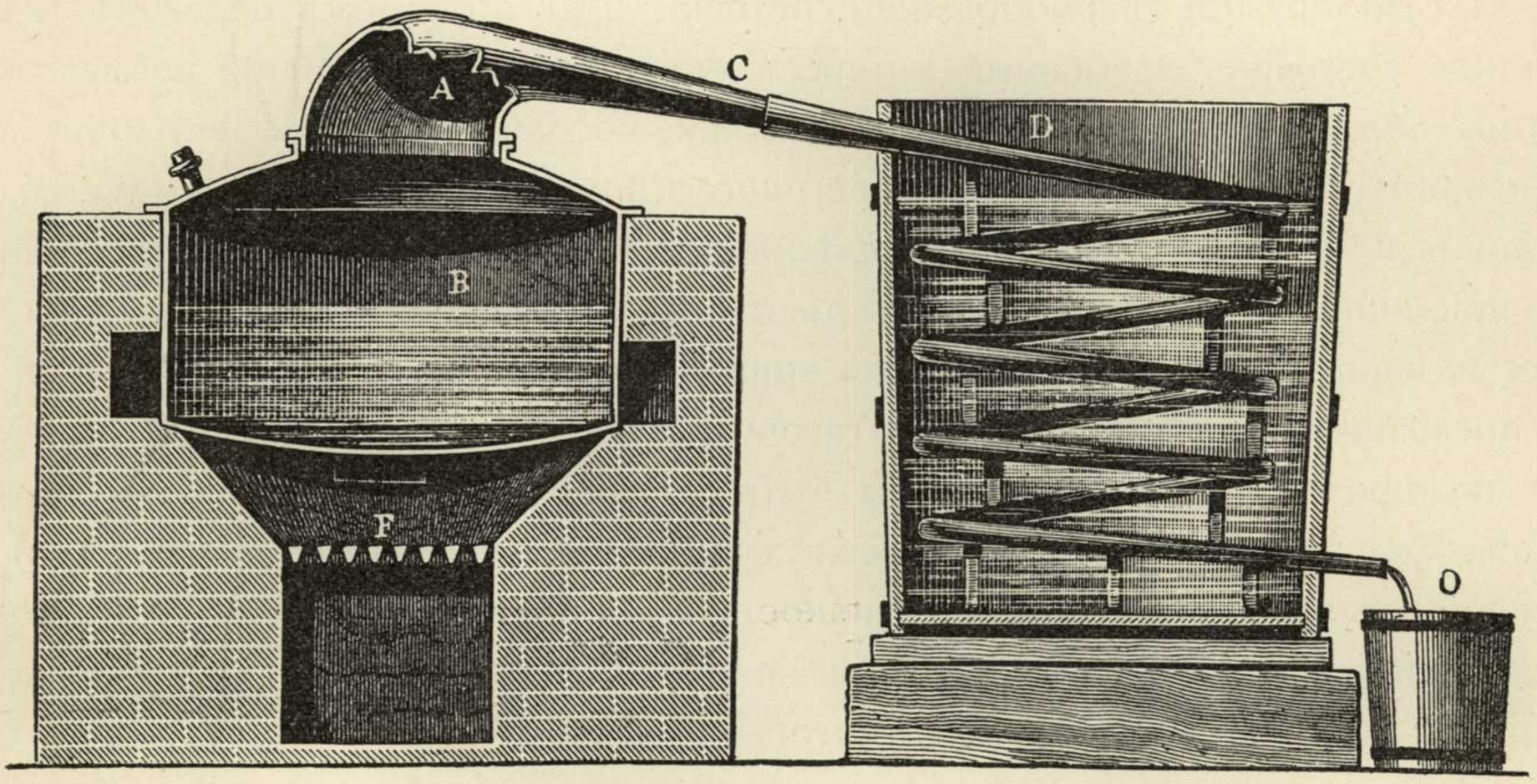
http://natlesi.ru

„Операторомъ“, мы имѣемъ свѣдѣнія о томъ процессѣ, который въ настоящее время мы называемъ дестилляціей или перегонкой.

На рис. 270 изображенъ александрійскій дестилляціонный аппаратъ. Сосудъ *b* изъ обожженной глины соединенъ металлической трубкой *c* со стекляннымъ сосудомъ *d*. Отъ послѣдняго идутъ три металлическія трубки *f* къ тремъ меньшаго размѣра стекляннымъ сосудамъ *e*. Трубки вдѣланы съ сосуды герметически. Если теперь наполнить сосудъ *b* жидкостью и нагрѣть его, то жидкость испаряется и ея пары сгущаются въ холодныхъ сосудахъ *e*.

Этотъ процессъ, такъ называемая дестилляція или перегонка, есть процессъ очистки. Если только въ жидкости были растворены твердыя вещества, то они остаются въ сосудѣ *b*, такъ какъ они не испаряются. Когда желаютъ получить чистую воду изъ обыкновенной ключевой воды, содержащей въ растворѣ различныя тѣла, то ее подвергаютъ перегонкѣ. На корабляхъ при помощи перегонки добываютъ питьевую воду изъ морской. На рис. 271 изображенъ современный перегонный аппаратъ простой кон-

Рис. 271



Перегонный аппаратъ.

струкціи. Въ котлѣ или кубѣ *B* жидкость нагрѣвается до кипѣнія и ея пары сгущаются въ спиральной трубкѣ (такъ называемомъ змѣевикѣ), которая окружена холодной водой.

При помощи перегонки можно отдѣлять другъ отъ друга жидкости съ различной температурой кипѣнія, которыя смѣшаны другъ съ другомъ (напримѣръ, воду и спиртъ). Смѣсь нагрѣваютъ, пока не начнетъ кипѣть жидкость, имѣющая болѣе низкую температуру кипѣнія. Послѣдняя перегоняется, тогда какъ менѣе летучая жидкость остается. Конечно, полное отдѣленіе не достигается однократной перегонкой, но при повтореніи процесса можно добиться болѣе высокой степени отдѣленія (очистки).—Широкое примѣненіе въ промышленности въ настоящее время находитъ такъ называемая фракціонированная перегонка, напримѣръ, при производствѣ спирта, при обработкѣ каменноугольнаго дегтя, а также при очисткѣ петролеума. Конечно, употребляемые при этомъ аппараты гораздо болѣе сложнаго устройства, чѣмъ изображенный на рис. 271. Сырой петролеумъ представляетъ смѣсь различныхъ болѣе или менѣе летучихъ жидкостей. Если нагрѣвать его въ перегонномъ кубѣ, то сначала

http://mathesis.ru

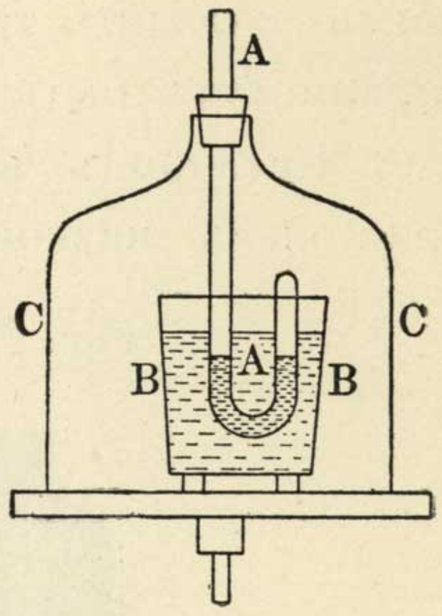
выдѣляются газы, затѣмъ перегоняются различныя жидкости, до 70° такъ называемыя горныя масла (нефть), между 70° и 120°—бензинъ. Эти масла очень легко воспламеняются и поэтому не должны содержаться въ очищенномъ петролеумѣ, который предназначается для горѣнія. Послѣдній перегоняется между 150° и 300°. Когда, слѣдовательно, температура въ перегонномъ кубѣ поднимается до 150°, мѣняется пріемникъ и „фракція“ отъ 150° до 300° собирается отдѣльно какъ отъ предшествующихъ, такъ и отъ слѣдующихъ фракцій. При еще болѣе высокихъ температурахъ перегоняется сначала густое машинное масло, а затѣмъ вазелинъ. То, что остается, наконецъ, въ перегонномъ кубѣ, представляетъ массу вродѣ асфальта, которая можетъ быть употребляема такъ же, какъ и натуральный асфальтъ. Путемъ такихъ же процессовъ изъ каменноугольнаго дегтя получаютъ множество соединеній (бензолъ, толуолъ, нафталинъ, фенолъ и др.), которыя подвергаются дальнѣйшей обработкѣ на химическихъ фабрикахъ. Они служатъ для полученія извѣстныхъ анилиновыхъ красокъ и множества другихъ препаратовъ.

327. Этотъ древній процессъ очистки и отдѣленія состоитъ въ переводѣ жидкости въ газообразное (парообразное) состояніе и въ обратномъ переводѣ газа (пара) въ жидкое состояніе. Особенный интересъ представляетъ послѣдній процессъ теперь, когда мы обладаемъ средствами, при помощи которыхъ мы въ состояніи всѣ газы конденсировать въ жидкости.—Въ перегонномъ приборѣ паръ конденсируется, вступая въ холодный пріемникъ. Сгущеніе, слѣдовательно, можетъ имѣть мѣсто лишь тогда, когда пріемникъ охлажденъ (напримѣръ, охладительной смѣсью) ниже точки кипѣнія жидкости, пары которой должны быть конденсированы въ жидкость. Но если должны быть превращены въ жидкость такія газообразныя тѣла, какъ угольная кислота, водородъ, кислородъ и т. п., то должны быть употреблены одновременно охлажденіе и давленіе. Точка кипѣнія жидкости лежитъ, какъ извѣстно, тѣмъ выше, чѣмъ больше давленіе, подъ которымъ находится жидкость. Если поэтому сжать газъ, то температура, при которой онъ будетъ въ состояніи конденсироваться въ жидкость, будетъ тѣмъ выше, чѣмъ больше давленіе, подъ которымъ находится газъ. Однако, послѣднее не слѣдуетъ понимать такъ, что всѣ газы при любой температурѣ могутъ быть превращены въ жидкости однимъ только давленіемъ. Фарадэй по предложенію Дэви предпринялъ въ 1823 году изслѣдованій о сжиженіи газовъ. Эти изслѣдованія позже были продолжены Тилорье въ Парижѣ и Наттереромъ въ Вѣнѣ. Послѣдній сжималъ газы помощью насоса въ металлическомъ сосудѣ изъ кованнаго желѣза, который помѣщался въ охладительной смѣси. Нѣкоторые газы легко конденсировались этимъ способомъ. Двуокись углерода, напримѣръ, превращается въ жидкость при температурѣ—20° С и при давленіи въ 20 атмосферъ. Напротивъ, Наттереру не удалось превратить въ жидкость водородъ, кислородъ и азотъ, хотя онъ подвергалъ ихъ давленію въ 2000 атмосферъ. Тилорье нашелъ, что жидкая угольная кислота при истеченіи изъ тонкаго отверстія очень быстро испаряется и вслѣдствіе охлажденія при этомъ застываетъ въ снѣгообразную массу. Фарадэй въ 1845 году пользовался при своихъ опытахъ сжиженія газовъ смѣсью снѣга, угольной кислоты и эѳира. Охладительная смѣсь—жидкость, имѣвшая температуру—78° С—помѣщалась въ сосудъ *B* (рис. 272), который находился подъ колоколомъ *C*. Газы, которые подвергались сжиженію, находились въ трубкѣ *A*. Когда изъ колокола выкачивался воздухъ, наступало быстрое испареніе охладительной смѣси и температура послѣдней падала,

http://rnathesis.ru

какъ показывалъ погруженный въ нее спиртовый термометръ, до—110°. Однако, хотя Фарадэй сверхъ того подвергалъ газы и сильному давленію, ему все же не удалось обратить въ жидкость кислородъ, азотъ, водородъ и нѣкоторые другіе газы. Онъ догадывался, почему нельзя было сгустить эти газы. „Не подлежитъ никакому сомнѣнію", говоритъ онъ, „что съ помощью охлажденія будутъ достигнуты результаты, какихъ нельзя добиться однимъ только повышеніемъ давленія". Онъ былъ того взгляда, что названные газы не могутъ быть сгущены, прежде чѣмъ будетъ найдено средство получать температуры ниже —110° С.

Рис. 272



Приборъ Фарадэя.

Дѣйствительно, оказалось, что всякій газъ долженъ быть охлажденъ до извѣстной температуры для того, чтобы его можно было обратить въ жидкость. Андрусъ (1813—1885), профессоръ химіи въ Бельфастѣ, доказалъ это опытнымъ путемъ въ 1869 году. Онъ сжималъ угольную кислоту въ стеклянной трубкѣ, которая при помощи водяной бани держалась на опредѣленной температурѣ. Когда температура угольной кислоты была выше 31·1° С, то она не сжижалась даже при давленіи въ 400 атмосферъ; но до этого давленія она слѣдовала закону Бойля (I, § 256). Напротивъ того, когда температура падала ниже 31·1° С, то сгущеніе наступало при давленіи 77 атмосферъ. Андрусъ назвалъ температуру, выше которой угольная кислота не можетъ обращаться въ жидкость (31·1°), критической температурой угольной кислоты. Если угольная кислота имѣетъ болѣе низкую температуру, то она можетъ быть давленіемъ обращена въ жидкость. Андрусъ предложилъ называть газообразныя тѣла паромъ, если они могутъ быть обращены въ жидкость однимъ только давленіемъ, и газомъ, если сгущеніе можетъ наступить только при совмѣстномъ охлажденіи и сжатіи. Угольная кислота, слѣдовательно, при температурахъ ниже 31·1° С является паромъ, при температурахъ же выше 31·1° С газомъ. Жидкая угольная кислота поэтому можетъ существовать только при температурахъ ниже 31·1° С (ср. I, § 259). Точно такъ же, какъ угольная кислота, и всякій другой газъ долженъ быть охлажденъ до опредѣленной температуры, чтобы его можно было обратить въ жидкое состояніе. Всякій газъ имѣетъ свою критическую температуру. Она, какъ впервые высказалъ Жаменъ и какъ доказали опытами Кальете и Матіасъ, есть та температура, при которой насыщенный паръ соотвѣтствующей жидкости имѣетъ ту же плотность, что и сама жидкость.

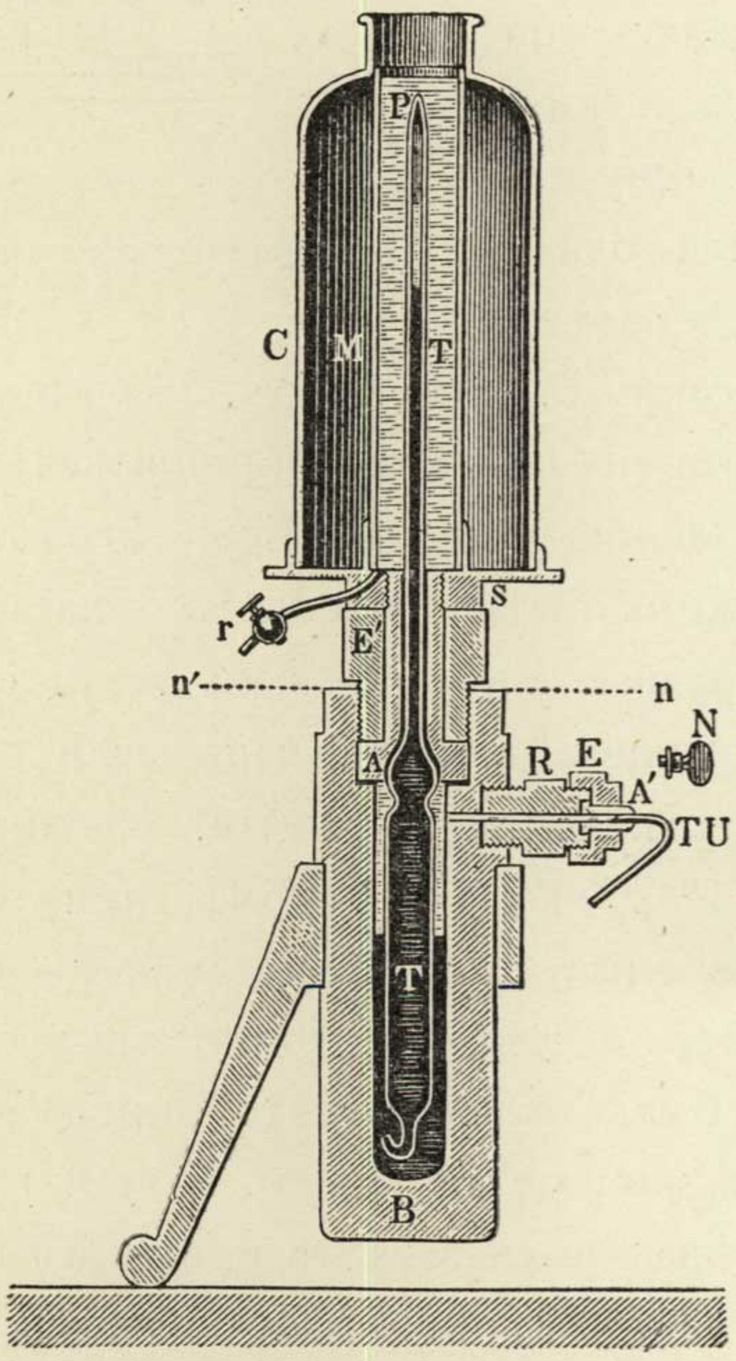
Андрусъ, равно какъ раньше Фарадэй, не сомнѣвался въ томъ, что такъ называемые постоянные газы (водородъ, кислородъ, азотъ, окись азота, болотный газъ и окись углерода) могутъ быть сжижены только при очень низкой температурѣ. Сжиженіе постоянныхъ газовъ удалось почти одновременно, въ 1877 году, двумъ различнымъ физикамъ, Р. Пикте въ Женевѣ и Л. Кальете въ Шатильонѣ на Сенѣ. Пикте достигалъ сильнаго охлажденія—какъ это дѣлается въ машинахъ для фабрикаціи льда—испареніемъ жидкой угольной кислоты, которая предварительно сама охлаждалась испареніемъ жидкой двуокиси сѣры до—70°. Этимъ способомъ онъ получалъ температуру въ—140°, при которой кислородъ подъ давленіемъ въ 50 атмосферъ обращался въ безцвѣтную жидкость приблизительно того же удѣльнаго вѣса, что и вода.

http://mathesis.ru

Устройство прибора, которымъ пользовался Кальете, видно на рис. 273. *B* представляетъ крѣпкій стальной цилиндръ, который запирается винтомъ *E*. Чрезъ этотъ винтъ проходитъ плотно пригнанная крѣпкая стеклянная трубка, которая вверху запаяна, а внизу расширена въ сосудъ *T*. Этотъ стеклянный сосудъ наполняется сжижаемымъ газомъ, а пространство между *B* и *T* заполняется ртутью. Чрезъ трубку *TU* накачивается помощью насоса вода. Благодаря этому ртуть проникаетъ въ стеклянный сосудъ и газъ сжимается. Трубка *T* окружена цилиндромъ, который можно наполнить жидкой угольной кислотой или жидкой двуокисью сѣры, чтобы сильно охладить трубку. При достаточно высокомъ давленіи съ помощью этого прибора могутъ быть обращены въ жидкость многіе газы.

Кислородъ, водородъ и азотъ, какъ сказано, обращаются въ жидкость только при очень низкой температурѣ. Критическая температура кислорода, напримѣръ, равна —118° С. Охлажденія, требуемаго для сжиженія этихъ газовъ, Кальете достигалъ тѣмъ, что сильно (до 300 атмосферъ) сжималъ ихъ, а затѣмъ мгновенно прекращалъ давленіе. Газъ сильно расширялся и вслѣдствіе этого охлаждался. Когда трубка *T* охлаждалась до —105° С, то при прекращеніи давленія температура падала до —200° С и Кальете могъ наблюдать, что названные газы обращались въ жидкость.

Рис. 273



Приборъ Кальете.

Дальнѣйшія изслѣдованія относительно сжиженія газовъ были произведены Врублевскимъ и Ольшевскимъ въ Краковѣ и Дьюоромъ въ Лондонѣ. Дьюоръ первый получилъ значительныя количества жидкаго водорода и подробнѣе изслѣдовалъ его свойства. Критическая температура водорода равна —242°. Плотность жидкаго водорода составляетъ 0·08. Онъ кипитъ при —252° С и застываетъ при —257° въ похожую на ледъ массу. Цѣлесообразный приборъ для полученія значительныхъ количествъ жидкаго воздуха былъ построенъ Линде въ Мюнхенѣ.

328. При помощи такъ называемой сухой перегонки древніе александрійскіе ученые разлагали органическія вещества. Сухая перегонка имѣетъ мѣсто тогда, когда нагрѣваютъ тѣла безъ доступа воздуха. Если нагрѣвать растительныя вещества въ закрытомъ сосудѣ, то они не могутъ горѣть, такъ какъ для горѣнія необходимъ кислородъ воздуха. Но при нагрѣваніи вещества разлагаются и летучія вещества, которыя при этомъ получаются, могутъ быть собраны въ пріемникѣ, подобно тому, какъ собирается паръ при обыкновенной перегонкѣ.

Этимъ способомъ въ настоящее время получаютъ свѣтильный газъ изъ каменнаго угля, содержащаго кромѣ углерода также водородъ, кислородъ и азотъ. Если нагрѣвать каменный уголь въ ретортахъ, то получается множество газообразныхъ продуктовъ разложенія, между прочимъ вода, амміакъ — соединеніе водорода съ азотомъ,—

http://mathesis.ru

окись углерода, двуокись углерода и цѣлый рядъ углеводородовъ, т. е. соединеній углерода и водорода. Газъ подвергается затѣмъ очисткѣ и послѣ этого сохраняется въ большихъ, закрытыхъ водой сосудахъ, такъ называемыхъ газгольдерахъ (ср. водолазный колоколъ I, § 267).

При сухой перегонкѣ употребляютъ вообще гораздо болѣе сильное нагрѣваніе, чѣмъ при обыкновенной и потому при ней получаются гораздо болѣе глубокія измѣненія. При обыкновенной перегонкѣ отдѣляются другъ отъ друга жидкости или жидкости отъ нелетучихъ тѣлъ. При сухой перегонкѣ имѣютъ мѣсто химическія измѣненія. Большая разница, будетъ ли горѣть кусокъ дерева въ воздухѣ или же онъ будетъ разлагаться сухою перегонкою, но въ обоихъ случаяхъ образуются новыя соединенія или, какъ мы выражаемся теперь, происходятъ химическіе процессы.

329. Кромѣ огня древніе знали и различныя другія средства, съ помощью которыхъ можно производить коренныя измѣненія въ свойствахъ извѣстныхъ тѣлъ. Напримѣръ, они знали уксусъ, въ которомъ могутъ растворяться различныя минеральныя вещества. Плиній разсказываетъ, что Клеопатра растворяла въ уксусѣ дорогія жемчужины и пила растворъ, чтобы выиграть пари, что за однимъ обѣдомъ она съѣстъ и выпьетъ на милліонъ сестерцій. Плутархъ повѣствуетъ, что Ганнибалъ при своемъ переходѣ черезъ Альпы разрушалъ на пути скалы, обливая ихъ уксусомъ. Равнымъ образомъ египтянамъ было извѣстно, что при обливаніи золы водой получается растворъ съ особенными свойствами. Евреи пользовались золой, какъ средствомъ для чистки, ибо съ ея помощью можно удалять такую грязь, на которую вода не производитъ никакого дѣйствія. Александрійскіе греки, безъ сомнѣнія, получали различнаго рода искусственныя вещества не только съ помощью огня и перегонки, но также и съ помощью различныхъ ѣдкихъ жидкостей.

Изъ Александріи химическое искусство на нѣкоторое время перешло къ арабамъ, которые, когда въ Испаніи водворилось спокойствіе, развернули многостороннюю дѣятельность, развивая естественнонаучную сторону греческой культуры (ср. I, § 57).

Самый выдающійся арабскій „химикъ“ извѣстенъ въ потомствѣ подъ именемъ Гебера. Его настоящее имя было Джабиръ ибнъ Гайанъ и жилъ онъ около 900 года. Удивительно, что о его личности неизвѣстно ничего достовѣрнаго, хотя онъ въ теченіе всѣхъ среднихъ вѣковъ считался высшимъ химическимъ авторитетомъ. Такъ же неизвѣстно, онъ ли авторъ всѣхъ сочиненій, которыя, особенно въ XVI вѣкѣ, стали появляться подъ его именемъ въ латинскихъ переводахъ. Нѣкоторыя изъ важнѣйшихъ между этими книгъ, по всей вѣроятности, написаны, впрочемъ, имъ и онѣ обнаруживаютъ, что онъ стоялъ значительно выше александрійцевъ. Онъ зналъ больше методовъ изслѣдованій и средствъ, чѣмъ они, и писалъ о своихъ работахъ ясно и понятно, тогда какъ языкъ александрійцевъ былъ въ высокой степени символическимъ и потому трудно понятнымъ.

Взгляды Гебера относительно свойствъ вещества были въ сущности тѣ же, что и у греко-александрійскихъ ученыхъ. Онъ является послѣдователемъ Аристотелевской теоріи стихій, вѣритъ въ возможность приготовленія золота и т. д. Но онъ все же ясно говоритъ о составѣ веществъ и благодаря его сочиненіямъ стали извѣстны понятія древнихъ о природѣ вещества.

http://matesis.ru

Относительно металловъ Геберъ принималъ, что всѣ они состоятъ изъ ртути и сѣры. Отдѣльные металлы различаются другъ отъ друга только отношеніемъ, въ какомъ въ нихъ содержатся эти двѣ составныя части. Если, такимъ образомъ, нужно превратить одинъ металлъ въ другой, то должно быть измѣнено отношеніе между ртутью и сѣрой въ немъ. Ртуть надѣляетъ металлы способностью растяженія, блескомъ и плавкостью, сѣра придаетъ имъ окраску и дѣлаетъ ихъ измѣняемыми въ огнѣ, т. е. горючими. Ртуть и сѣру Геберъ называлъ принципами металловъ.—Если, значитъ, Геберъ считалъ возможными превращенія металловъ, то это вполнѣ согласовалось съ его представленіями о природѣ вещества. Желаніе получить какое-либо вещество изъ тѣла, которое этого вещества не содержитъ, есть безуміе. „Но такъ какъ всѣ металлы состоятъ изъ ртути и сѣры, то можно прибавить недостающее или удалить лишнее“. Достигается это перегонкой, растворѐніемъ и т. д., а дѣйствующими средствами служатъ соль, квасцы, купоросное масло, бура, крѣпкій уксусъ и огонь. Геберъ зналъ азотную кислоту, а также, по всей вѣроятности, и сѣрную.

Средства для превращенія металловъ, такъ называемыя „медицины“, распадаются на три группы. Медицины перваго порядка суть вещества, встрѣчающіяся въ природѣ. Онѣ измѣняютъ неблагородные металлы, но измѣненіе является непродолжительнымъ. Медицины второго порядка, получающіяся при очисткѣ природныхъ тѣлъ, могутъ отчасти превращать неблагородные металлы въ благородные. Но полное превращеніе можетъ быть произведено только помощью медицины третьяго порядка, философскимъ камнемъ или великимъ эликсиромъ.

Полученіе философскаго камня и стало тѣмъ, на что направлена была вся дѣятельность золотодѣлателей, алхимиковъ. Указанія Гебера на этотъ счетъ неясны и (само собою разумѣется) не даютъ никакого дѣйствительнаго руководства.

Хотя для Гебера, равно какъ и для болѣе позднихъ алхимиковъ среднихъ вѣковъ, главной задачей было превращеніе металловъ, тѣмъ не менѣе и другіе вопросы, которые могли быть разрѣшены химическимъ искусствомъ, отнюдь не оставались въ пренебреженіи. Ближайшими послѣдователями Гебера были арабскіе врачи, между ними знаменитый Авиценна (Ибнъ Сина). Онъ родился въ 980 году близъ Бухары, былъ придворнымъ врачемъ нѣсколькихъ султановъ Бухары, которая простиралась тогда на западъ на бо̀льшую часть теперешней Персіи, изучалъ медицину и философію въ Испагани и умеръ въ 1037 году въ Гамаданѣ. Онъ составилъ учебникъ врачебнаго искусства, который былъ въ употребленіи до XVI столѣтія. Въ этой книгѣ онъ выступаетъ рѣшительнымъ сторонникомъ ученія Клавдія Галена (131—201). Послѣдній кладетъ въ основу положеніе, что всѣ тѣла состоятъ изъ четырехъ элементовъ; когда эти элементы смѣшаны въ человѣческомъ тѣлѣ въ соотвѣтствующемъ отношеніи, тѣло здорово. Напротивъ, если получаетъ преобладаніе одинъ изъ элементовъ, составъ крови становится ненормальнымъ и тѣло дѣлается больнымъ. Чтобы вылечить болѣзнь, должно быть возстановлено правильное отношеніе четырехъ элементовъ. Естественнымъ слѣдствіемъ развитія химическаго искусства явилось увеличеніе числа лекарствъ. Чѣмъ больше веществъ были въ состояніи получать химики, тѣмъ больше было возможности найти для каждой болѣзни подходящее лекарство. Геберъ значительно увеличилъ число веществъ, которыя могли быть получены опредѣленными способами, и однимъ изъ слѣдствій этого было то, что у

http://rutracker.org

арабовъ появились аптеки, въ которыхъ лекарства приготовлялись по опредѣленнымъ правиламъ, преимущественно изъ растительныхъ веществъ.

330. Отъ арабовъ химическое искусство перешло къ южнымъ и западнымъ европейскимъ народамъ. Арабскія высшія школы привели къ основанію высшихъ школъ въ Италіи, Франціи, Англіи и Германіи (срав. I, § 59). Къ учебнымъ предметамъ относились, кромѣ математики, физики и философіи, также алхимія и врачебное искусство. Отъ XI до XVI вѣка алхиміей занималось множество ученыхъ и остроумныхъ людей, большею частью монаховъ. Какую роль искусство приготовленія золота играло въ нѣкоторыхъ монастыряхъ, можно видѣть изъ того, что въ 1317 году папа воспретилъ монахамъ заниматься алхиміей.—Къ тѣмъ, кто занимался въ средніе вѣка искусствомъ приготовленія золота, принадлежатъ также нѣкоторые изъ величайшихъ ученыхъ того времени, между прочимъ и Альбертъ Магнусъ, графъ Болльштедтскій (род. 1193 въ Лауингенѣ въ Швабіи, ум. 1280 въ Кёльнѣ). Учился онъ въ Падуѣ, затѣмъ сталъ доминиканскимъ монахомъ, преподавалъ въ Кёльнѣ, Страсбургѣ и Парижѣ, былъ назначенъ епископомъ регенсбургскимъ, но сложилъ съ себя этотъ санъ, чтобы посвятить себя въ Кёльнѣ исключительно наукѣ. Въ Парижѣ его лекціи объ Аристотелѣ посѣщались такимъ множествомъ слушателей, что ихъ нужно было читать подъ открытымъ небомъ. Альбертъ Магнусъ былъ однимъ изъ величайшихъ богослововъ среднихъ вѣковъ. Онъ былъ добросовѣстнымъ и основательнымъ изслѣдователемъ, изучалъ ли онъ Аристотеля, или наблюдалъ и изслѣдовалъ природу. Онъ въ высокой степени содѣйствовалъ тому, что алхимія стала почитаемымъ занятіемъ для набожныхъ и ученыхъ монаховъ. Онъ былъ твердо убѣжденъ въ возможности превращенія металловъ. Однако, не всякому дано браться за разрѣшеніе этой задачи. По Альберту Магнусу алхимикъ долженъ обладать слѣдующими качествами: онъ долженъ быть молчаливымъ, жить въ уединеніи, имѣть отдѣльную рабочую комнату, долженъ выбирать для работы надлежащее время, обладать настойчивостью и имѣть достаточныя средства, чтобы обставить себя необходимыми пособіями. Онъ долженъ освоиться съ химическими методами работъ, пользоваться сосудами только изъ стекла и держать себя вдали отъ земныхъ владыкъ.—Въ этихъ совѣтахъ лежитъ корень той таинственности, въ которую облеклось въ средніе вѣка приготовленіе золота. Самъ Альбертъ былъ прилежнымъ изслѣдователемъ. Онъ хотѣлъ такъ же, какъ и Геберъ, не „превратить“ одно вещество въ другое, а посредствомъ измѣненія состава преобразовать одно въ другое. „Философскій камень“, по его понятію, долженъ дѣйствовать „естественно“. Его великій современникъ Роджеръ Бэконъ (I, § 80), несмотря на все свое остроуміе и на свою способность къ непосредственному наблюденію природы, имѣлъ фантастическія понятія о силѣ философскаго камня. Онъ былъ убѣжденъ въ томъ, что философскій камень можетъ превратить неблагородный металлъ въ благородный въ милліонъ разъ больше своего собственнаго вѣса, и что вмѣстѣ съ тѣмъ онъ обладаетъ силой удлинять человѣческую жизнь. Томасъ Аквинскій (1224—1274) также твердо вѣрилъ въ дѣйствіе великаго эликсира. Такимъ образомъ, ученіе о возможности превращенія металловъ мало по малу превратилось въ вѣру въ существованіе универсальнаго средства (панацеи). Алхимія стала тайнымъ искусствомъ, заниматься которымъ могли только особо одаренные люди, и всюду стали появляться адепты, т. е. лица, которыя утверждали, что они посвящены въ полное тайны искусство приготовленія золота.

http://mathesis.ru

Государи, какъ можно легко себѣ представить, очень интересовались искусствомъ приготовленія золота и стремились привлекать къ себѣ адептовъ. Альбертъ Магнусъ справедливо предостерегалъ дѣлателей золота отъ поступленія на службу къ князьямъ, такъ какъ въ большинствѣ случаевъ это кончалось обманомъ или жестокимъ наказаніемъ, потому что адепты не были въ состояніи выполнить своего обѣщанія, которое они, безъ сомнѣнія, часто давали съ полной вѣрой, надѣясь добиться превращенія металловъ, если будутъ располагать необходимыми для этого средствами. Безконечныя разочарованія, которыя доставляли князьямъ дѣлатели золота, очень содѣйствовали упадку вѣры въ алхимію.

331. Изъ исторіи алхиміи можно ясно видѣть, въ какой степени изслѣдованіе природы зависитъ отъ руководящей основной точки зрѣнія, отъ принятой гипотезы. Во всѣ средніе вѣка алхимія была единственной экспериментальной наукой, если только можно прилагать къ ней это названіе. Были произведены всѣ опыты, какіе только можно себѣ вообразить, были испробованы самые удивительныя средства, такъ какъ не было извѣстно, какимъ путемъ можно найти философскій камень. Но къ разрѣшенію вопроса экспериментаторы не подошли ближе. Одного только экспериментированія недостаточно. Цѣнность полученныхъ данныхъ зависитъ отъ руководящей гипотезы. Только при ея посредствѣ удается открыть единство въ существующемъ многообразіи. Тѣмъ не менѣе, ревностное, хотя и безсистемное экспериментированіе алхимиковъ было не совсѣмъ безплодно.

Были найдены новые методы работы, а старые были разработаны и улучшены. Такіе люди, какъ Арнольдъ Вилланованъ, учитель и врачъ второй половины XIII вѣка сначала въ своемъ отечествѣ, Испаніи, позже во Франціи и Италіи, и Базилій Валентинъ, жившій въ первой половинѣ XV вѣка бенедиктинскій монахъ, получили множество новыхъ химическихъ препаратовъ, изъ которыхъ многими стали пользоваться, какъ лекарствами. Химическіе методы работъ совершенствовались впродолженіе долгаго періода исканія превращеній въ золото, но и съ улучшенными методами достигнуто было мало, ибо при экспериментированіи исходили изъ ложнаго представленія относительно природы вещества.

332. Само собою понятно, что Возрожденіе оказало свое вліяніе также и въ области химіи. Это вліяніе продолжалось въ теченіе полутора вѣковъ. То обстоятельство, что алхимія въ теченіе всѣхъ среднихъ вѣковъ могла удерживать свое господство, имѣло своимъ основаніемъ вѣру въ авторитетъ, которая характеризуетъ духовную жизнь этого времени. Эпоха Возрожденія была эпохой разрыва съ авторитетами. Выдвинуты были новыя цѣли, старыя же совершенно или отчасти были отодвинуты въ сторону. Изъ тѣхъ лицъ, которыя направили химическое искусство на новый путь, въ первомъ ряду стоитъ Парацельзъ (род. 1493 въ Марія-Айнзиденѣ, въ кантонѣ Швицъ, ум. 1541 въ Зальцбургѣ). До сихъ поръ конечной цѣлью было превращеніе металловъ. Парацельзъ же настойчиво указывалъ на то, что задачей химическаго искусства должно быть изготовленіе лекарствъ. Лозунгомъ его было, что врачебное искусство и химія должны идти рука объ руку. Врачебная наука безъ химически приготовленныхъ медикаментовъ была ничто и задача химіи заключалась въ томъ, чтобы по мѣрѣ возможности способствовать развитію врачебной науки. Болѣзни въ человѣческомъ организмѣ вызываются химическими причинами и могутъ быть устранены только химическими лекарствами. Пара-

http://mathesis.ru

цельзъ пользовался въ качествѣ лекарствъ цѣлымъ рядомъ веществъ, извѣстныхъ раньше, какъ ядовитыя. Онъ успѣшно лечилъ различные трудные случаи и вмѣстѣ съ тѣмъ вносилъ во врачебное искусство и въ химію новую живую струю.

Большое значеніе это новое движеніе получило благодаря тому, что химическими работами теперь стали заниматься врачи, слѣдовательно, научно-образованные люди, а не исключительно искатели золота, которые, какъ было сказано уже, не пользовались особеннымъ уваженіемъ. Парацельзъ своими собственными работами не двинулъ химіи впередъ. Его вліяніе не поставило химіи и существенно новой цѣли, ибо довольно безразлично, идетъ ли дѣло о полученіи золота или о приготовленіи лекарствъ. Заслуга его состоитъ въ томъ, что онъ связалъ химію съ врачебной наукой.

Полное имя Парацельза было Филиппъ Авреолъ Теофрастъ Парацельзъ Бомбастъ фонъ Гогенгеймъ. Этому напыщенному имени соотвѣтствовалъ надменный и хвастливый, но все же геніальный человѣкъ. Его жизнь была несчастлива. Получивъ въ Базелѣ весьма неполное медицинское образованіе, онъ сталъ стремиться проникнуть въ тайны алхимиковъ. Затѣмъ онъ предпринималъ большія путешествія по различнымъ странамъ Европы, въ которыхъ усердно работалъ надъ расширеніемъ своихъ знаній. Возвратившись въ Базель, онъ быстро пріобрѣлъ славу удивительнаго врача и въ 1526 году получилъ мѣсто профессора медицины въ университетѣ. Здѣсь онъ выступилъ въ качествѣ реформатора, отвергъ старые медицинскіе авторитеты, Галена и Авиценну, сочиненія которыхъ публично сжегъ, и читалъ лекціи на нѣмецкомъ языкѣ о своихъ химико-медицинскихъ теоріяхъ. Но уже спустя два года онъ вновь покидаетъ Базель вслѣдствіе ссоры съ магистратомъ и опять начинаетъ непостоянную, бродячую жизнь. Хотя у него были хорошіе доходы, однако, вслѣдствіе расточительной жизни онъ умеръ въ нуждѣ.

333. Ученія Парацельза нашли большое одобреніе у одной части врачей, тогда какъ со стороны другой части подверглись сильнымъ нападкамъ. Въ значительной степени безпристрастной оцѣнкѣ его заслугъ способствовалъ Андрей Либау (Либавіусъ). Вначалѣ онъ былъ врачемъ, затѣмъ учителемъ и умеръ ректоромъ въ Кобургѣ въ 1616 году. Либау также отвергалъ все, что было у Парацельза преувеличеннаго и таинственнаго, но съ другой стороны указывалъ, что послѣдній ввелъ во врачебное искусство цѣлый рядъ полезныхъ лекарствъ. Онъ составилъ руководство по химіи, въ которомъ описалъ простыми и ясными словами, представляющими пріятный контрастъ съ высокопарнымъ стилемъ Парацельза, химическіе методы работъ, приборы и препараты. Но несмотря на это онъ все же былъ только алхимикомъ, а не химикомъ въ современномъ значеніи этого слова. Онъ твердо вѣрилъ въ возможность приготовленія золота и питалъ большое довѣріе къ введенному Виллановановымъ лекарству, которое содержало „годное для питья золото“. Въ личности Либау былъ воплощенъ, такъ сказать, переходъ отъ алхиміи къ дѣйствительному научному химическому изслѣдованію. То же относится и къ его знаменитому современнику, голландскому врачу Іоганну Баптисту ванъ Гельмонту (1577—1644), который самостоятельно работалъ не только въ области медицины, но также и въ области химіи. Это былъ превосходный наблюдатель, но, какъ настоящій сынъ своего времени, онъ имѣлъ большую склонность къ мистицизму и суевѣрію. При этомъ онъ былъ исполненъ самоувѣренности и сильнаго желанія освободиться отъ пользовавшихся вліяніемъ

http://natlesi.ru

авторитетовъ. Онъ обладалъ достаточнымъ знаніемъ языковъ, чтобы безъ содѣйствія средневѣковыхъ комментаторовъ быть въ состояніи изучать греческихъ философовъ. Какъ врачъ, онъ держался сначала Гиппократа и Галена, но затѣмъ пришелъ къ мнѣнію, что во многихъ случаяхъ Парацельзъ является лучшимъ руководителемъ, и сдѣлался однимъ изъ самыхъ выдающихся борцовъ за теоріи послѣдняго, поскольку признавалъ ихъ правильными.

Въ чисто химической области онъ былъ противникомъ Аристотелевскаго ученія. Особенно нападалъ онъ на тотъ взглядъ, что огонь есть элементъ. Огонь не есть что-либо вещественное, это есть только горящій дымъ; пламя же есть раскаленный дымъ. Три элемента алхимиковъ, сѣру, ртуть и соль (которую къ двумъ элементамъ Гебера прибавилъ Базилій Валентинъ) онъ также не признавалъ за элементы. Напротивъ, ванъ Гельмонтъ указывалъ на воду, какъ на основную составную часть тѣлъ; всѣ масла, винный спиртъ, воскъ, всѣ горючія тѣла содержатъ воду, которая обнаруживается при горѣніи тѣла. Растенія образуютъ изъ воды не только свои горючія, но также и землеобразныя составныя части. Ванъ Гельмонтъ считалъ, что онъ доказалъ это путемъ опыта. Онъ помѣстилъ въ чанъ 200 фунтовъ сухой земли и посадилъ въ нее ивовую вѣтвь вѣсомъ въ 5 фунтовъ. Все было тщательно защищено отъ пыли и земля каждый день орошалась дождевой водой. По истеченіи 5 лѣтъ ива увеличила свой вѣсъ до 164 фунтовъ, между тѣмъ какъ вѣсъ земли измѣнился только на нѣсколько унцій. Отсюда ванъ Гельмонтъ заключилъ, что растеніе образовало всѣ свои составныя части исключительно изъ воды. А такъ какъ зола растеній представляетъ изъ себя землю, то, слѣдовательно, вода можетъ быть превращена въ землю. Значитъ, земля не есть элементъ, какъ это утверждалъ Аристотель. Ванъ Гельмонтъ утверждалъ, что возможно также превращеніе земли въ воду, однако, не указалъ, какимъ образомъ можно произвести это превращеніе.

Важнѣе его наблюденій надъ огнемъ, землей и водой были его изслѣдованія надъ газообразными тѣлами. Съ древнѣйшихъ временъ было извѣстно, что кромѣ обыкновеннаго воздуха существуетъ также горючій воздухъ и удушливый воздухъ, которые выдѣляются въ нѣкоторыхъ мѣстахъ земли. Думали, однако, что эти газообразныя тѣла представляютъ собою тотъ же воздухъ, къ которому примѣшано либо что-нибудь горючее, либо что-нибудь удушливое. Газообразныя тѣла не умѣли получать искусственно, но знали о существованіи различныхъ „воздушныхъ смѣсей“ въ рудникахъ. Если при химическихъ процессахъ и замѣчали образованіе газа, то не придавали этому явленію большого значенія, ибо предполагали, что въ такихъ случаяхъ дѣло всегда шло объ обыкновенномъ воздухѣ.

Ванъ Гельмонтъ различалъ нѣсколько газообразныхъ тѣлъ и тѣ, которыя отличались отъ обыкновеннаго воздуха, называлъ газами. Газъ по Гельмонту отличается отъ пара тѣмъ, что паръ можетъ быть сгущенъ въ жидкость, газъ, напротивъ, не можетъ (ср. § 327). Ванъ Гельмонтъ сумѣлъ получать разныя газообразныя тѣла дѣйствіемъ кислотъ на металлы или на известковыя тѣла, а также при горѣніи, броженіи и гніеніи, но болѣе подробно изслѣдовать эти газообразныя тѣла ему не удавалось, такъ какъ онъ не умѣлъ собирать ихъ. Вслѣдствіе этого онъ принималъ нѣсколько различныхъ газовъ за одинъ и тотъ же, ибо они, какъ угольная кислота, не поддерживали ни горѣнія, ни дыханія. Равнымъ образомъ онъ считалъ различные горючіе газы за одинъ и тотъ же газъ.

http://mathesis.ru

Представляетъ ли воздухъ, подобно водѣ, элементъ, этого ванъ Гельмонтъ не желаетъ опредѣленно рѣшить, но онъ объясняетъ, что воздухъ не можетъ быть превращенъ въ воду такъ же, какъ и вода не можетъ быть превращена въ воздухъ. Эти два тѣла вполнѣ независимы другъ отъ друга. Аристотель, какъ извѣстно, утверждалъ прямо противоположное.

334. Ванъ Гельмонту принадлежитъ слѣдующее важное наблюденіе. Если свѣча горитъ въ воздухѣ, замкнутомъ водой, то она быстро потухаетъ и часть воздуха при горѣніи исчезаетъ, что видно изъ того, что мѣсто воздуха отчасти занимаетъ вода. Ванъ Гельмонтъ, однако, не изслѣдовалъ ближе этого явленія. Онъ удовольствовался разъясненіемъ, что то, что поддерживаетъ горѣніе и исчезаетъ при горѣніи, не есть самый воздухъ, но вещество, которое содержится въ порахъ воздуха. Сильвій Делабоэ (1614—1672), профессоръ медицины въ Лейденѣ, считалъ это вещество чѣмъ-то сходнымъ съ селитрой—допущеніе, къ которому примыкалъ также Робертъ Гукъ (I, § 166). Его послѣдователь Джонъ Майовъ (1645—1679) далъ въ 1669 году объясненіе горѣнію, которое по существу было сходно съ даннымъ позже объясненіемъ Лавуазье, но которое обратило на себя мало вниманія и вскорѣ было совершенно забыто.

335. Въ 1661 году въ Оксфордѣ появилась книга подъ заглавіемъ „The sceptical Chymist“ (Скептическій химикъ). Неизвѣстный авторъ книги энергично нападалъ на теоріи Аристотеля и алхимиковъ и выставлялъ положеніе, что химія есть чисто опытная наука.

Авторомъ этой книги былъ неоднократно упомянутый Робертъ Бойль (род. въ 1627 году), сынъ Ричарда Бойля, „великаго графа изъ Корка“, который молодымъ человѣкомъ прибылъ въ Ирландію и пріобрѣлъ тамъ большое состояніе. Въ то время когда онъ посѣщалъ школу въ Итонѣ, благодаря особенному случаю интересъ его направился на естественныя науки. Когда онъ однажды присутствовалъ въ лабораторіи одного аптекаря при опытахъ послѣдняго, произошелъ взрывъ. Это происшествіе произвело на него глубокое впечатлѣніе и послужило для него поводомъ обратиться къ изученію естественныхъ наукъ. Въ возрастѣ 12 лѣтъ Бойль предпринялъ въ сопровожденіи брата и воспитателя путешествіе во Францію, Швейцарію и Италію. Тѣ шесть лѣтъ, въ теченіе которыхъ продолжалось это путешествіе, были плодотворнымъ временемъ занятій.—Во Флоренціи зимой 1641—1642 года онъ изучалъ работы и приборы Галилея и можно смѣло сказать, что кое-что отъ генія Галилея перешло къ нему. Когда онъ позже писалъ вышеупомянутое сочиненіе, для выраженія различныхъ мнѣній онъ пользовался, подобно Галилею, формой діалога и языкъ его, какъ и языкъ Галилея, былъ современнымъ, т. е. яснымъ и понятнымъ, а также свободнымъ отъ мистическихъ выраженій и таинственныхъ намековъ.

Бойль возвратился на родину въ 1644 году, чтобы вступить во владѣніе наслѣдствомъ—въ это время умеръ его отецъ. Къ этому наслѣдству принадлежало между другими владѣніями помѣстье Стальбриджъ въ Дорсетширѣ. Здѣсь онъ поселился, чтобы въ тишинѣ и уединеніи заняться изученіемъ физическихъ и химическихъ сочиненій, равно какъ и работами въ своей лабораторіи. Въ 1654 году Бойль переселился въ Оксфордъ. Уже раньше онъ сдѣлался членомъ общества, къ которому принадлежалъ также математикъ Валлисъ (I, § 178) и которое ставило себѣ задачей

http://mathesis.ru

способствовать развитію экспериментальныхъ наукъ. Общество мало выступало публично и было прозвано „невидимой коллегіей“. Первоначально свои собранія общество имѣло въ Greshams College, въ которомъ его предсѣдатель, Самюэль Форстеръ, былъ профессоромъ астрономіи. Но когда часть членовъ переселилась въ Оксфордъ, общія собранія происходили только отъ времени до времени.

Изъ этого общества развилось позже знаменитое англійское научное общество, существующее съ 1663 года подъ именемъ Royal Society. Вначалѣ это общество встрѣчало сильное противодѣйствіе со стороны церкви и къ Бойлю, который слылъ за серьезнаго и благочестиваго человѣка, самымъ настоятельнымъ образомъ было предъявлено требованіе выступить изъ этого общества. Но настроеніе, по крайней мѣрѣ до нѣкоторой степени, скоро перемѣнилось, хотя раздраженіе противъ учениковъ Фрэнсиса Бэкона было велико. Какъ въ 1665 году, когда въ Лондонѣ свирѣпствовала чума, такъ и въ 1666 году, когда городъ испыталъ большой пожаръ, общество проявило достойную большой благодарности дѣятельность.

Часть статей Бойля появилась въ журналѣ Royal Society „Philosophical Transactions“. Въ 1668 году Бойль переселился въ Лондонъ и сдѣлался однимъ изъ самыхъ дѣятельныхъ членовъ этого общества. Онъ занимался не только естественными науками, но также историческими, лингвистическими и богословскими. Энергично содѣйствовалъ онъ также распространенію библіи и самъ перевелъ Новый Завѣтъ на турецкій языкъ. Умеръ онъ въ 1691 году.

„Скептическій химикъ“ была не первая научная работа Бойля. Уже въ предыдущемъ году, именно въ 1660, онъ выпустилъ въ свѣтъ сочиненіе о воздухѣ, въ которомъ опубликовалъ свое открытіе о связи между объемомъ и давленіемъ воздуха (I, § 257). Въ „Скептическомъ химикѣ“ Бойль излагаетъ свой взглядъ на природу элементовъ. Онъ согласенъ съ Аристотелемъ въ томъ, что тѣла состоятъ изъ элементовъ (основныхъ веществъ) и что они могутъ быть разложены на эти элементы, но онъ не можетъ признать за элементы ни огонь, ни землю, ни воду, ни воздухъ. Подъ элементомъ Бойль понимаетъ осязаемую составную часть тѣлъ, которая не можетъ быть разложена на другія, отличныя отъ нея, составныя части.

Для Бойля было ясно, что существуетъ много веществъ, которыя по его опредѣленію могутъ считаться элементами, и что число послѣднихъ съ усовершенствованіемъ химическихъ способовъ отдѣленія должно будетъ еще увеличиться. Элементы Бойля не представляютъ собою абсолютныхъ основныхъ веществъ, а только обозначенія для химическихъ опытовъ. Съ теченіемъ времени могутъ быть открыты не только новыя основныя вещества, но можетъ оказаться, что нѣкоторыя изъ тѣлъ, которыя считались элементами, въ дѣйствительности не элементы. Такимъ образомъ, что касается сущности элементовъ, взгляды Бойля вполнѣ совпадаютъ съ нынѣшними понятіями. Бойль сообщаетъ также и свои взгляды относительно взаимодѣйствія между найденными опытнымъ путемъ элементами. Когда два или большее число элементовъ соединяются, то получается химическое соединеніе, которое есть постольку самостоятельное вещество, поскольку оно обладаетъ иными свойствами, чѣмъ каждая изъ составныхъ частей. Химическое соединеніе происходитъ между мельчайшими частицами вслѣдствіе взаимнаго притяженія, которое дѣйствуетъ на очень незначительномъ разстояніи. Основныя вещества сами, быть можетъ, состоятъ изъ одного и того же первичнаго вещества и различаются только различной величиной, формой и взаимнымъ

положеніемъ мельчайшихъ частицъ. — Бойль проводилъ рѣзкое различіе между смѣсью и химическимъ соединеніемъ. Въ смѣси составныя части располагаются другъ подлѣ друга, сохраняя каждая свои свойства. Химическое же соединеніе есть вполнѣ гомогенное (однородное) вещество, въ которомъ всякая отдѣльная часть обладаетъ одними и тѣми же свойствами.

Химія была возвышена Бойлемъ до степени точной науки, задачу которой составляетъ изслѣдованіе свойствъ элементовъ и химическихъ соединеній и нахожденіе законовъ, по которымъ совершаются химическія измѣненія.

336. Намъ нѣтъ необходимости слѣдить здѣсь за развитіемъ химіи шагъ за шагомъ. Нужно только отмѣтить, что при этомъ развитіи до начала XIX столѣтія дѣло касалось преимущественно природы процесса горѣнія. Бойль, много работавшій съ воздушнымъ насосомъ, сдѣлалъ важное наблюденіе, что сѣру нельзя зажечь въ безвоздушномъ пространствѣ. Далѣе онъ нашелъ, что получающаяся при сгораніи металла металлическая зола (окалина металла) вѣситъ больше, чѣмъ сгорѣвшій металлъ. Онъ даже замѣчалъ, что, если обжигать (т. е. медленно сжигать) въ замкнутомъ пространствѣ свинецъ, то часть заключеннаго воздуха исчезаетъ. Несмотря на это онъ не ставилъ въ связь съ исчезновеніемъ воздуха это увеличеніе вѣса, а считалъ, что металлическая окалина тяжелѣе металла потому, что послѣдній при горѣніи принимаетъ въ себя вѣсомое тепловое вещество.

Химики должны были пройти, какъ учитъ исторія, длинный путь, прежде чѣмъ имъ удалось выяснить природу процесса горѣнія. Послѣ Бойля прибѣгали къ другимъ объясненіямъ этого процесса, но въ нихъ не находилъ себѣ достаточной опоры фактъ, что металлъ при сгораніи увеличивается въ вѣсѣ, т. е. что продуктъ горѣнія тяжелѣе сгорѣвшаго металла. Врачъ и химикъ Іоганнъ Іоахимъ Бехеръ (род. въ 1635 г. въ Шпейерѣ, ум. въ 1682 г. въ Лондонѣ) и послѣ него Георгъ Эрнстъ Шталь (род. въ 1660 г. въ Ансбахѣ, ум. въ 1734 г. въ Берлинѣ) выставили своеобразную теорію, что всѣ горючія тѣла содержатъ одно и то же вещество, которымъ и обусловливается горѣніе. Шталь, который былъ профессоромъ медицины въ Галле, а позже королевскимъ придворнымъ врачемъ въ Берлинѣ, въ 1702 году развилъ новую теорію горѣнія въ приложеніи къ новому изданію того сочиненія Бехера, въ которомъ послѣдній впервые высказалъ основныя положенія своей теоріи. Шталь назвалъ составную часть тѣлъ, обусловливающую ихъ горючесть, флогистономъ. Огнеупорное тѣло не содержитъ флогистона; напротивъ, тѣло, которое, какъ, напримѣръ, уголь, сгорая, оставляетъ только немного золы, въ бо̀льшей своей части состоитъ изъ флогистона. Именно, при горѣніи исчезаетъ флогистонъ и остаются составныя части, свободныя отъ флогистона.

Самъ Шталь не придавалъ большого значенія тому обстоятельству, что по флогистической теоріи продуктъ горѣнія металла долженъ быть легче самого металла, тогда какъ въ дѣйствительности этотъ продуктъ тяжелѣе послѣдняго. Французскій химикъ Р. Лемери (1645—1715), напротивъ, счелъ необходимымъ найти этому факту объясненіе. Онъ поэтому принималъ, что тѣло при горѣніи съ одной стороны отдаетъ флогистонъ, но съ другой стороны принимаетъ въ себя вѣсомое тепловое вещество. Шталь, разумѣется, зналъ, что горѣніе можетъ имѣть мѣсто только въ присутствіи воздуха. Роль, которую играетъ при горѣніи воздухъ, по его мнѣнію состояла въ томъ, что воздухъ принимаетъ въ себя выдѣляющійся флогистонъ, и опредѣленное

http://rafes.ru

количество воздуха могло, по его представленію, принять въ себя только извѣстное количество флогистона.

Флогистонъ можетъ, такъ училъ онъ далѣе, быть переведенъ при извѣстныхъ условіяхъ изъ одного тѣла въ другое. Металлическая зола (сгорѣвшій металлъ; металлъ, который отдалъ свой флогистонъ) становится металломъ, если нагрѣвать ее вмѣстѣ съ углемъ. Именно, при нагрѣваніи угля флогистонъ освобождается и воспринимается металлической золой. Такимъ образомъ: металлъ — флогистонъ = металлической окалинѣ, и, наоборотъ, окалина + флогистонъ = металлу.

337. Шталь полагалъ, что флогистонъ есть основное вещество, которое не можетъ быть изолировано. Когда, напримѣръ, сгораетъ кусокъ угля, то, разумѣется, флогистонъ освобождается, но онъ разсѣивается въ воздухѣ, такъ что его нельзя замѣтить. Воздухъ не горючъ, даже тогда, когда онъ содержитъ флогистонъ. Это, по мнѣнію приверженцевъ флогистона, основывается на томъ, что флогистонъ и воздухъ не связаны другъ съ другомъ. Флогистонъ въ воздухѣ содержится въ „свободномъ“ состояніи и изъ него воспринимается растеніями. Но такъ какъ чистый уголь, напримѣръ, сажа сосноваго дерева, сгораетъ полностью, то онъ долженъ быть приблизительно тѣмъ же, что и флогистонъ.—Но существовали еще и другія вещества, которыя, по всей видимости, состояли изъ чистаго флогистона. Къ такимъ веществамъ принадлежитъ водородъ, полученный Генри Кэвендишемъ (I, § 306) раствореніемъ цинка въ разбавленной сѣрной кислотѣ. Кэвендишъ нашелъ, что изъ опредѣленнаго количества кислоты всегда получается одно и то же количество водорода, если даже растворять въ разбавленной кислотѣ другой металлъ, а не цинкъ. А такъ какъ, заключилъ Кэвендишъ, опредѣленное количество кислоты вытѣсняетъ извѣстное количество флогистона и такъ какъ опредѣленное количество кислоты, какъ учитъ опытъ, всегда выдѣляетъ одно и то же количество водорода, безразлично, какимъ металломъ воспользоваться, и такъ какъ водородъ очень горючъ—онъ можетъ сгорать даже полностью—, то водородъ, по всей вѣроятности, и есть не что иное, какъ флогистонъ.

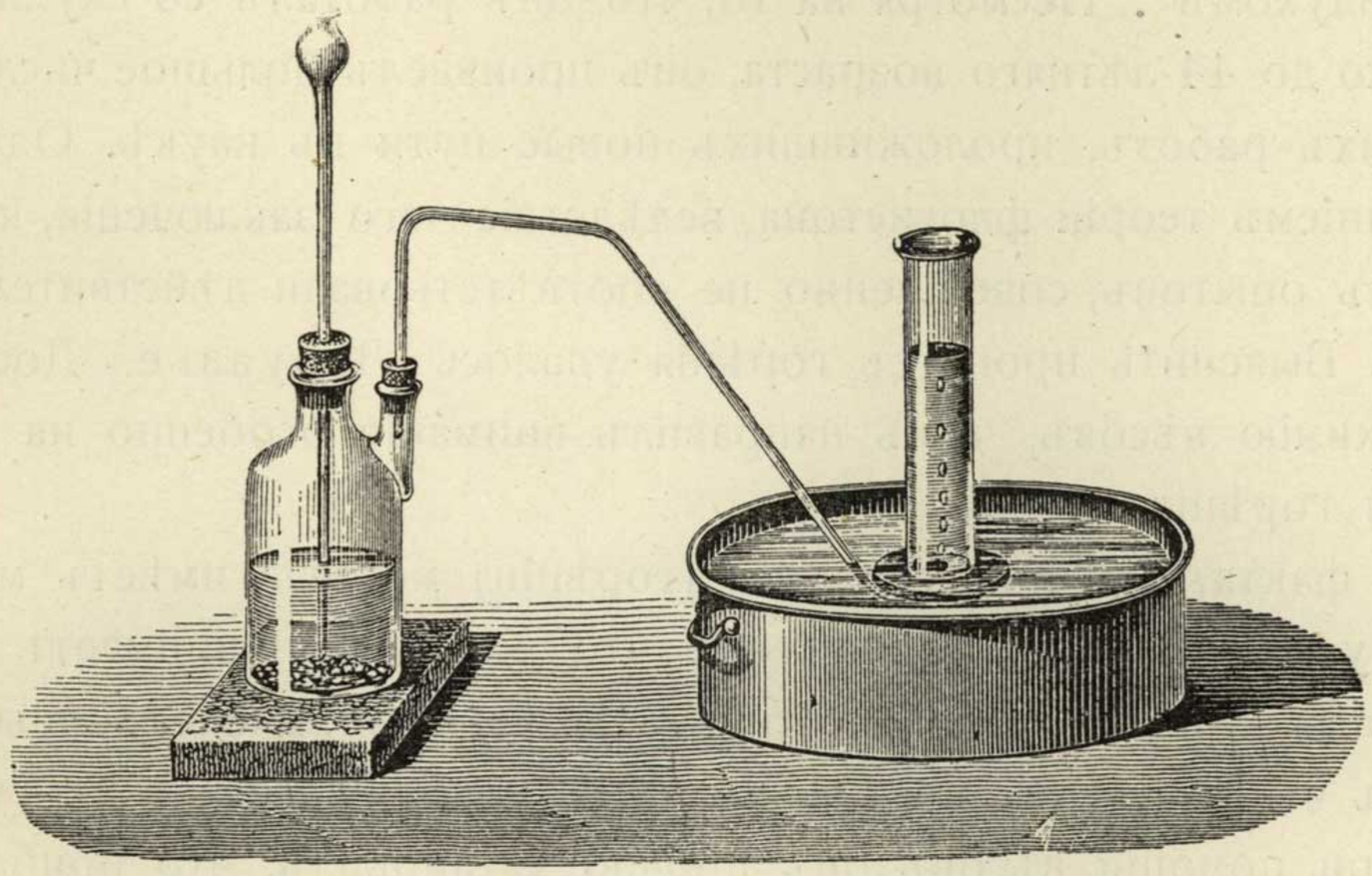
Для производства опытовъ Кэвендиша требовались приборы, при помощи которыхъ можно было бы собрать выдѣляющійся водородъ и измѣрить его количество. Уже Бойль устроилъ приборъ для полученія газовъ, въ существенномъ напоминающій форму употребляемыхъ и нынѣ послѣ того, какъ англійскій священникъ и химикъ Стефанъ Гэльсъ (1679—1761), имѣющій за собою большія заслуги благодаря своимъ болѣе подробнымъ изслѣдованіямъ газообразныхъ тѣлъ, придалъ ему устройство, представленное на рис. 274. Въ склянкѣ находится вода и куски цинка. Изогнутая трубка при помощи пробки вставлена въ горлышко склянки, другимъ же концомъ погружена въ сосудъ съ водой (въ такъ называемую пневматическую ванну) такъ, что оканчивается подъ отверстіемъ опрокинутаго и наполненнаго водой цилиндра. Если чрезъ воронку влить въ склянку сѣрной кислоты, то образуется водородъ, который удаляется чрезъ изогнутую трубку и собирается въ цилиндрѣ. Если желаютъ имѣть чистый водородъ, то цилиндръ слѣдуетъ опустить надъ концомъ трубки только послѣ того, какъ воздухъ будетъ полностью вытѣсненъ изъ склянки.

Кэвендишъ опредѣлялъ удѣльный вѣсъ водорода и нашелъ, что онъ въ $14^1/_2$ разъ легче воздуха. Водородъ самый легкій изъ всѣхъ газовъ.

338. Въ 1774 году Джозефъ Пристлей (1733—1804), соотечественникъ

Кэвендиша, бывшій подобно Гэльсу священникомъ и химикомъ, открылъ новое газообразное тѣло, представляющее въ отношеніи способности горѣнія, такъ сказать, противоположность водороду, т. е. оно не горитъ, но очень легко поддерживаетъ горѣніе другихъ тѣлъ. Исходнымъ пунктомъ для этого открытія служилъ опытъ Гэльса, а также опытъ французскаго химика Пьерра Байана (1725—1797). Гэльсъ замѣтилъ, что окалина свинца (сурикъ) при нагрѣваніи выдѣляетъ воздухъ, а Байанъ нашелъ, что красная окалина ртути при нагрѣваніи даже въ отсутствіи веществъ, содержащихъ флогистонъ, переходитъ въ ртуть, при чемъ окалина выдѣляетъ воздухъ.

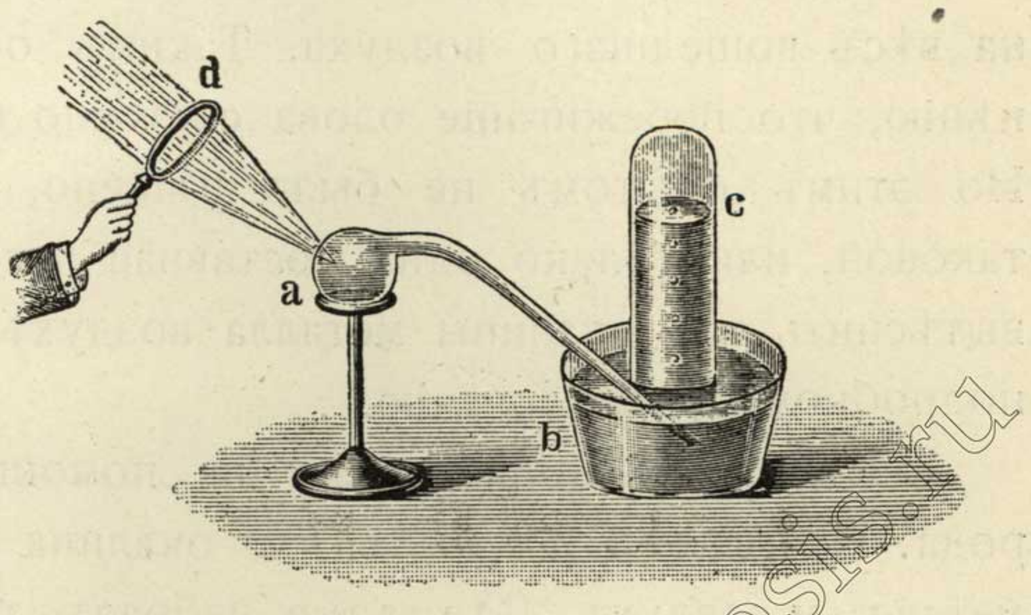
Рис. 274



Приборъ для добыванія водорода.

Эти важныя наблюденія не были подробнѣе изслѣдованы, хотя теорія флогистона не давала для нихъ никакого объясненія. Лишь Пристлей повторилъ опытъ Байана и произвелъ его способомъ, представленнымъ на рис. 275. Колба *a* содержитъ красную окалину ртути, горло колбы такъ же, какъ и чашка *b* и цилиндръ *c*, наполнено металлической ртутью. Пристлей заставлялъ падать на окалину ртути солнечные лучи, собранные зажигательнымъ стекломъ. Окалина сильно нагрѣвалась и начинала выдѣлять, какъ уже замѣчалъ и Байанъ, воздухъ, который собирался надъ ртутью въ цилиндрѣ *c*; вмѣстѣ съ тѣмъ подъ порошкомъ окалины ртути появлялись маленькія капельки металлической ртути.

Рис. 275



Полученіе Пристлеемъ кислорода.

Пристлей подвергъ изслѣдованію выдѣлившійся изъ окалины ртути воздухъ и нашелъ, что онъ поддерживаетъ горѣніе въ гораздо болѣе высокой степени, чѣмъ обыкновенный воздухъ. Свѣча сгорала въ новомъ воздухѣ гораздо быстрѣе, чѣмъ въ обыкновенномъ, а когда онъ опускалъ въ него тлѣющую лучину, то она сгорала сильно свѣтящимся пламенемъ. Пристлей считалъ новое газообразное тѣло свободнымъ отъ флогистона воздухомъ, ибо энергичное горѣніе указывало, что этотъ

http://mathesis.ru

воздухъ гораздо болѣе жадно принимаетъ флогистонъ, чѣмъ обыкновенный. Чѣмъ быстрѣе горящее тѣло могло отдавать свой флогистонъ и чѣмъ быстрѣе воздухъ могъ его принимать, тѣмъ энергичнѣе происходило горѣніе.—Открытый Пристлеемъ воздухъ (газъ) позже получилъ названіе кислорода.

339. Въ то время какъ въ Англіи Пристлей былъ занятъ изслѣдованіями различныхъ газообразныхъ тѣлъ, подобными работами были заняты Карлъ Вильгельмъ Шееле (1742—1786) въ Швеціи и Антуанъ Лоранъ Лавуазье (1743—1794) во Франціи. Шееле, который былъ аптекаремъ въ Кёпингѣ, самостоятельно, не имѣя никакихъ свѣдѣній объ открытіи Пристлея, открылъ кислородъ, который онъ назвалъ „огненнымъ воздухомъ“. Несмотря на то, что онъ работалъ со скудными средствами и дожилъ только до 44-лѣтняго возраста, онъ произвелъ большое число самостоятельныхъ химическихъ работъ, проложившихъ новые пути въ наукѣ. Однако, онъ находился подъ вліяніемъ теоріи флогистона, вслѣдствіе чего заключенія, которыя онъ вывелъ изъ своихъ опытовъ, совершенно не соотвѣтствовали дѣйствительному значенію этихъ опытовъ. Выяснить процессъ горѣнія удалось Лавуазье. Достигъ онъ этого введеніемъ въ химію вѣсовъ, чѣмъ направилъ вниманіе особенно на количественную сторону явленія горѣнія.

Изъ того факта, что при сжиганіи (горѣніи) металла имѣетъ мѣсто увеличеніе его вѣса, Лавуазье вывелъ заключеніе, что металлъ принимаетъ вещество, а не отдаетъ его, какъ допускали флогистики. Далѣе онъ доказалъ опытомъ, что, если сжигать металлъ въ закрытомъ сосудѣ, то часть находящагося въ сосудѣ воздуха потребляется, а при помощи вѣсовъ онъ прочно установилъ, что прибавленіе вѣса металла въ точности равно потерѣ вѣса воздуха. Отсюда можно было съ увѣренностью вывести заключеніе, что при горѣніи часть воздуха соединяется съ металломъ.

Лавуазье при своихъ опытахъ поступалъ такъ, какъ раньше Бойль. Онъ помѣстилъ въ стеклянную колбу олово, герметически закрылъ ее и нагрѣлъ такъ, чтобы металлъ прокалился. Послѣ нагрѣванія колба вмѣстѣ съ содержимымъ имѣла тотъ же вѣсъ, что и раньше. Но при открытіи послѣ этого колбы воздухъ устремлялся въ нее и оказывалось, что металлъ благодаря пережиганію сталъ тяжелѣе какъ разъ на вѣсъ вошедшаго воздуха. Такимъ образомъ не могло подлежать никакому сомнѣнію, что пережиганіе олова состояло въ томъ, что оно соединялось съ воздухомъ. Но этимъ опытомъ не было рѣшено, соединяется ли съ металломъ воздухъ, какъ таковой, или только одна составная часть его. Лавуазье не удалось также снова вытѣснить изъ окалины металла воздухъ, чтобы можно было подвергнуть его болѣе подробному изслѣдованію.

Въ этомъ пришелъ ему на помощь Пристлей со своимъ открытіемъ кислорода. Пристлей показалъ, что окалина ртути при нагрѣваніи можетъ разлагаться на металлъ и воздухъ. Лавуазье избралъ, такъ сказать, противоположный путь. Онъ помѣстилъ немного ртути въ реторту (рис. 276), горлышко которой выходило въ воздухъ, замкнутый въ колоколѣ надъ ртутью. Находящаяся въ ретортѣ ртуть кипятилась впродолженіе двухъ недѣль. Спустя нѣсколько дней въ ртути появились красныя капельки, что указывало на то, что началось пережиганіе металла. По истеченіи двѣнадцати дней исчезла приблизительно пятая часть воздуха и при продолженіи кипяченія дальнѣйшее образованіе окалины ртути прекратилось. Это была первая часть опыта Лавуазье. Вторая часть была не что иное, какъ опытъ Пристлея. Онъ на-

http://mathesis.ru

грѣвалъ образовавшуюся окалину ртути и получилъ, какъ и Пристлей, ртуть и кислородъ, при чемъ количество послѣдняго въ точности соотвѣтствовало количеству воздуха, исчезнувшаго во время пережиганія.

Лавуазье вывелъ изъ этого опыта слѣдующія заключенія:

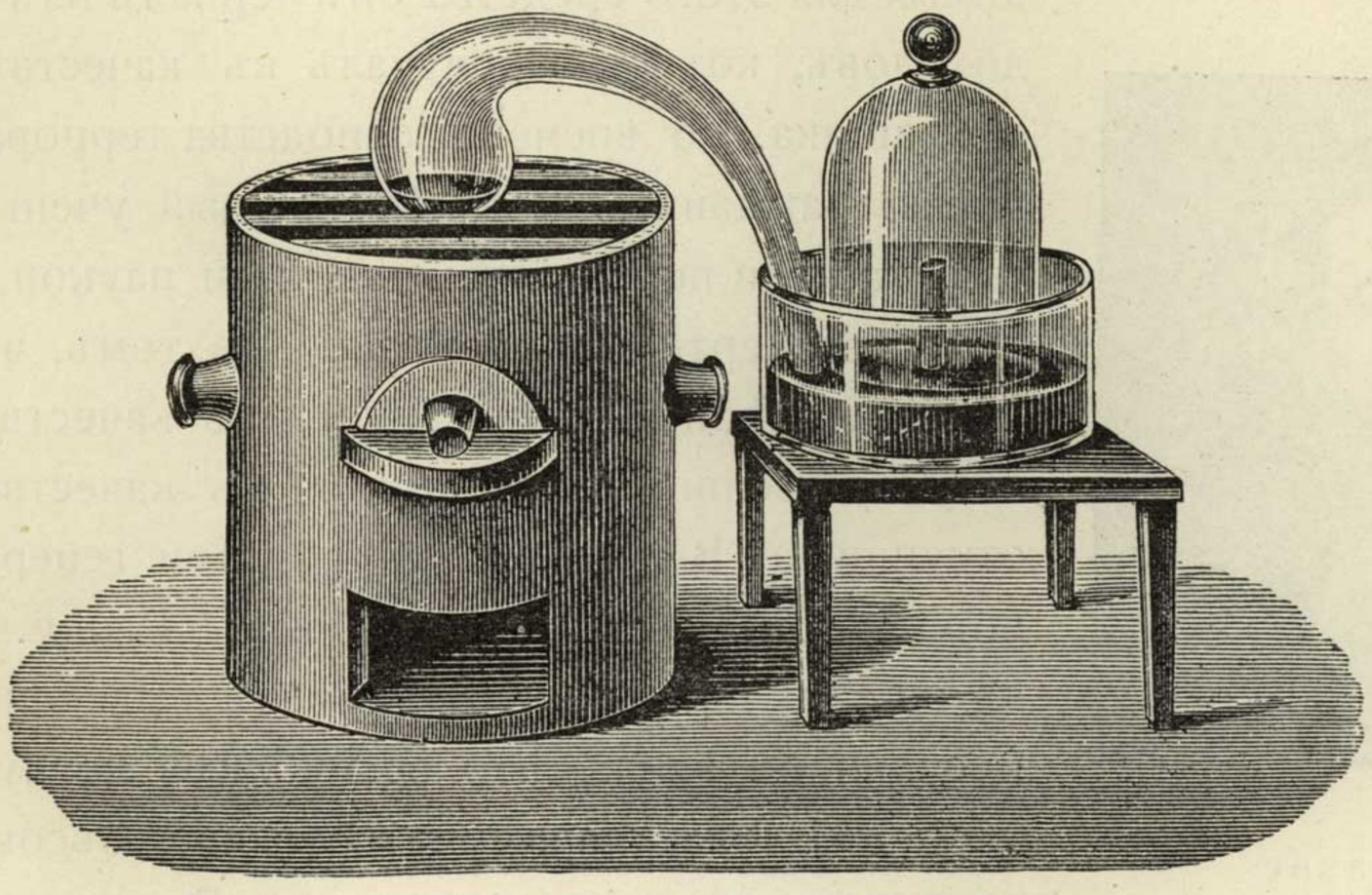
1. Когда металлъ пережигается (сгораетъ) въ воздухѣ, то онъ принимаетъ въ себя часть воздуха.

2. Принятая металломъ часть воздуха есть кислородъ.

3. Приблизительно пятая часть обыкновеннаго воздуха есть кислородъ.

Послѣднее вытекало изъ того обстоятельства, что, когда исчезла пятая часть заключеннаго воздуха, остальныя четыре пятыхъ не производили дальнѣйшаго пережиганія (сгоранія). Воздухъ, такимъ образомъ, состоитъ изъ кислорода и, по крайней мѣрѣ, еще одного газообразнаго тѣла. Позже нашли, что, кромѣ кислорода, онъ содержитъ еще нѣсколько другихъ газовъ.

Рис. 276



Опытъ Лавуазье.

340. Важнѣйшимъ результатомъ изслѣдованій Лавуазье является, однако, не то открытіе, что воздухъ не простое тѣло. Это знали уже Пристлей и Шееле. Важнѣйшее значеніе работъ Лавуазье заключается главнымъ образомъ въ томъ, что ими былъ нанесенъ смертельный ударъ теоріи флогистона. Теперь было ненужно прибѣгать къ гипотетическому флогистону, чтобъ объяснить процессъ горѣнія. Лавуазье именно и показалъ, что какъ горѣніе сѣры, угля и другихъ веществъ состоитъ въ томъ, что эти тѣла соединяются съ кислородомъ воздуха, такъ и обжиганіе (сгораніе) металловъ состоитъ въ томъ, что они соединяются съ кислородомъ.

Горѣніе въ атмосферномъ воздухѣ есть, слѣдовательно, окисленіе, т. е. соединеніе горящаго тѣла съ кислородомъ. Этимъ Лавуазье создалъ новое основное положеніе для представленія химическихъ процессовъ и состава химическихъ соединеній. Съ этого времени вѣсы становятся необходимымъ орудіемъ химика и со времени этого объясненія процесса горѣнія опытный законъ о неизмѣняемости количества вещества проходитъ красной нитью въ развитіи химіи. Вещество не можетъ быть ни создано, ни уничтожено, но вещества могутъ быть разло-

http://matnes.sfu.ru

жены и соединены и вѣсы являются превосходнымъ средствомъ, при помощи котораго можно оріентироваться въ химическихъ измѣненіяхъ.

Лавуазье былъ сынъ богатаго адвоката, получилъ превосходное школьное воспитаніе и во время своего студенчества работалъ у самыхъ лучшихъ французскихъ естествоиспытателей. По желанію своего отца онъ изучалъ сначала юриспруденцію, но позже окончательно обратился къ изученію естественныхъ наукъ. Его первая работа о гипсѣ была прочитана въ Академіи въ 1765 году, а тремя годами позже онъ сталъ членомъ Академіи. Скоро его талантъ былъ признанъ и Академіи часто приходилось считаться съ его мнѣніемъ.

Молодой ученый питалъ большой интересъ къ техникѣ и промышленности. Съ 1776 г. онъ былъ директоромъ королевскихъ пороховыхъ заводовъ. Онъ организовалъ обширныя техническія и научныя изслѣдованія. Необходимыя для этого средства онъ черпалъ изъ значительныхъ доходовъ, которые получалъ въ качествѣ генеральнаго откупщика. Во времена господства террора этотъ выдающійся гражданинъ и замѣчательный ученый, несмотря на свои заслуги передъ отечествомъ и наукой, былъ приговоренъ къ смерти по обвиненію въ томъ, что онъ злоупотреблялъ своимъ положеніемъ въ качествѣ руководителя государственной индустріи и въ качествѣ генеральнаго откупщика. Вмѣстѣ съ 27 другими генеральными откупщиками онъ былъ казненъ въ 1794 году. Робеспьерръ не щадилъ никого, кто занималъ выдающееся положеніе, и судьи объявили, что республикѣ не нужно ученыхъ.

Рис. 277



Лавуазье.

341. Благодаря употребленію вѣсовъ сталъ получаться матеріалъ, на которомъ Дальтонъ (§ 80) могъ обосновать свою атомную теорію, остающуюся и по сей день краеугольнымъ камнемъ химическаго изслѣдованія.—Прежде чѣмъ заняться разсмотрѣніемъ этой атомной теоріи, необходимо дать здѣсь списокъ простыхъ веществъ или элементовъ, извѣстныхъ въ настоящее время.

http://mathesis.ru

Простыя вещества

Названія простыхъ веществъ	Знакъ	Атомный вѣсъ	Названія простыхъ веществъ	Знакъ	Атомный вѣсъ
Азотъ (Nitrogenium)	N	13·9	Неонъ	Ne	20·0
Алюминій	Al	26·9	Никкель	Ni	58·4
Аргонъ	Ar	39·7	Ніобій	Nb	93·3
Барій	Ba	136·4	Олово (Stannum)	Sn	118·1
Бериллій	Be	9·0	Осмій	Os	189·9
Боръ	B	10·9	Палладій	Pd	105·6
Бромъ	Br	79·3	Платина	Pt	193·4
Ванадій	V	51·0	Празеодимъ	Pr	142·4
Висмутъ (Bismutum)	Bi	206·5	Радій	Ra	225·0
Водородъ (Hydrogenium)	H	1·0	Родій	Rh	102·2
Вольфрамъ	W	182·7	Ртуть (Hydrargyrum)	Hg	198·5
Гадолиній	Gd	154·9	Рубидій	Rb	84·8
Галлій	Ga	68·5	Рутеній	Ru	100·9
Гелій	He	4·0	Самарій	Sa	148·9
Германій	Ge	71·7	Свинецъ (Plumbum)	Pb	205·4
Желѣзо (Ferrum)	Fe	55·6	Селенъ	Se	78·4
Золото (Aurum)	Au	195·7	Серебро (Argentum)	Ag	107·1
Индій	In	112·8	Скандій	Sc	43·7
Иридій	Ir	191·7	Стронцій	Sr	86·9
Иттербій	Yb	171·7	Сурьма (Stibium)	Sb	119·5
Иттрій	Y	88·3	Сѣра	S	31·8
Іодъ	J	125·9	Талій	Tl	202·6
Кадмій	Cd	111·1	Танталъ	Ta	181·2
Калій	K	38·8	Теллуръ	Te	127·1
Кальцій	Ca	39·8	Тербій	Tb	158·8
Кислородъ (Oxygenium)	O	15·9	Титанъ	Ti	47·8
Кобальтъ	Co	59·1	Торій	Th	230·9
Кремній (Silicium)	Si	28·2	Тулій	Tu	169·4
Криптонъ	Kr	81·2	Углеродъ (Carbonicum)	C	11·9
Ксенонъ	X	128·0	Уранъ	U	237·8
Лантанъ	La	137·6	Фосфоръ	P	30·8
Литій	Li	7·0	Фторъ	F	18·9

Первыя опредѣленія атомныхъ вѣсовъ были произведены Дальтономъ. Результаты его изслѣдованій были опубликованы въ 1805 году.

Нѣсколькими годами раньше Дальтонъ подвергъ изслѣдованію два различныхъ соединенія углерода съ водородомъ и нашелъ, что въ одномъ соединеніи съ однимъ и тѣмъ же количествомъ углерода соединено вдвое больше водорода, чѣмъ въ другомъ. Эту же закономѣрность онъ нашелъ и въ составѣ двухъ соединеній углерода съ кислородомъ, въ окиси углерода и въ двуокиси углерода (угольной кислотѣ). Одно и то же количество углерода во второмъ изъ этихъ соединеній соединено съ вдвое бо́льшимъ количествомъ кислорода, чѣмъ въ первомъ. Еще замѣтнѣе эта закономѣрность выступаетъ въ соединеніяхъ кислорода съ азотомъ. Одно и то же количество, именно 28 вѣсовыхъ частей азота, соединяется съ 16, 32, 48, 64, и 80 вѣсовыми частями кислорода, другими словами, съ вѣсовыми количествами, относящимися, какъ 1 : 2 : 3 : 4 : 5. Если одно и то же количество одного элемента соединяется съ различными количествами другого элемента, то отношеніе послѣднихъ можетъ быть выражено цѣлыми числами.

Эту своеобразную закономѣрность въ составѣ химическихъ соединеній Дальтонъ объяснилъ при помощи высказанной уже въ древности гипотезы, что вещества состоятъ изъ чрезвычайно маленькихъ, недѣлимыхъ частицъ, атомовъ (ср. § 323). Каждое простое вещество, говоритъ онъ, состоитъ изъ одинаковыхъ атомовъ постояннаго вѣса и химическія соединенія происходятъ благодаря тому, что соединяются атомы простыхъ веществъ. Если одно простое вещество образуетъ съ другимъ больше, чѣмъ одно соединеніе, то извѣстное количество (одинъ атомъ или нѣсколько атомовъ) одного соединяется либо съ однимъ, либо съ двумя, либо съ тремя и т. д. атомами другого. Такимъ образомъ, мы должны по необходимости выражать количества второго вещества, вступающія въ соединенія съ однимъ и тѣмъ же количествомъ перваго, цѣлыми числами.

342. Необходимымъ условіемъ Дальтоновской атомной теоріи являются работы Лавуазье. Безъ помощи вѣсовъ Дальтонъ не былъ бы въ состояніи придти къ своему представленію природы химическихъ соединеній. Слѣдуетъ еще отмѣтить, что ему не помѣшали даже господствовавшіе тогда взгляды на сущность теплоты— она разсматривалась въ то время, какъ нѣчто вещественное. Вѣсами нельзя было доказать существованія теплового вещества.

Что же означаетъ выраженіе атомный вѣсъ? Само собою понятно, что оно не можетъ означать вѣсъ отдѣльнаго атома. Послѣдняго нельзя опредѣлить при помощи вѣсовъ, ибо атомъ не можетъ быть изолированъ и, сверхъ того, онъ неизмѣримо меньше самаго малаго вѣса, который можетъ быть показанъ вѣсами. Ничего опредѣленнаго о дѣйствительномъ вѣсѣ атомовъ мы не знаемъ, но во всякомъ случаѣ онъ чрезвычайно малъ. Атомный вѣсъ есть только относительное понятіе, т. е. числа, выражающія атомные вѣса, даютъ только отношенія атомныхъ вѣсовъ различныхъ простыхъ веществъ. Какимъ образомъ находятъ это отношеніе, можно вкратцѣ пояснить слѣдующимъ образомъ.

Самыя малыя частицы химическаго соединенія не могутъ, конечно, быть атомами, онѣ должны быть составлены изъ различныхъ атомовъ. Мѣлъ (известнякъ) состоитъ изъ кальція, углерода и кислорода. Даже самая малая частица мѣла содержитъ эти три простыя вещества. Самая малая частица мѣла, какую только можно себѣ пред-

http://mathesis.ru

ставить, т. е. частица, которая при дальнѣйшемъ отдѣленіи не можетъ быть разложена на еще меньшія частицы мѣла, а разлагается только на кальцій, углеродъ и кислородъ, называется молекулой.

Извѣстные химическіе факты привели, далѣе, къ допущенію, что не только въ сложныхъ тѣлахъ, но и въ простыхъ веществахъ атомы соединяются въ группы атомовъ, т. е. въ молекулы. Различіе между молекулами сложнаго вещества и молекулами простого состоитъ, такимъ образомъ, въ томъ, что первыя составлены изъ разнородныхъ, послѣднія, наоборотъ, изъ однородныхъ атомовъ.

Различныя соотношенія газообразныхъ тѣлъ особенно ясно указываютъ на то, что газы состоятъ изъ молекулъ независимо отъ того, есть ли данный газъ простое вещество или химическое соединеніе.

Гэ-Люссакъ, какъ было упомянуто въ ученіи о теплотѣ, доказалъ, что всѣ газообразныя тѣла при нагрѣваніи расширяются равномѣрно, а Бойль показалъ (I, § 257), что объемы всѣхъ газовъ измѣняются въ обратномъ отношеніи къ давленію. Отсюда итальянскій физикъ Амедео Авогадро (1776—1856) вывелъ заключеніе, что одинаковые объемы различныхъ газовъ при одинаковой температурѣ и одинаковомъ давленіи содержатъ одинаковое число молекулъ. Этотъ „законъ“ Авогадро можно формулировать и такъ, что молекулы различныхъ газовъ при одинаковой температурѣ и одинаковомъ давленіи занимаютъ одни и тѣ же объемы. Такъ какъ законы Гэ-Люссака и Бойля касаются какъ сложныхъ, такъ и простыхъ газовъ, то очень вѣроятно, что послѣдніе такъ же, какъ и первые, состоятъ изъ молекулъ, т. е. изъ группъ атомовъ, а не изъ отдѣльныхъ атомовъ.

Итакъ, чтобы опредѣлить отношеніе молекулярныхъ вѣсовъ газообразныхъ тѣлъ, необходимо только узнать вѣса равныхъ объемовъ при одинаковой температурѣ и одинаковомъ давленіи. Отношеніе объемныхъ вѣсовъ есть тогда вмѣстѣ съ тѣмъ и отношеніе молекулярныхъ вѣсовъ. Единицей объемнаго вѣса такъ же, какъ и молекулярнаго, служитъ вѣсъ легчайшаго газа, водорода.

Изъ молекулярнаго вѣса получается и атомный вѣсъ, если извѣстно, изъ скольких атомовъ состоитъ молекула. Въ связи съ извѣстными химическими фактами, въ разсмотрѣніе которыхъ мы не можемъ здѣсь входить ближе, принимаютъ, что молекула водорода состоитъ изъ двухъ атомовъ. Если принять теперь, что атомный вѣсъ водорода равенъ 1, то его молекулярный вѣсъ равенъ 2; при помощи вѣсовъ опредѣляютъ, во сколько разъ другой газъ тяжелѣе водорода, и удвоенное послѣднее число и есть молекулярный вѣсъ другого газа.

Кислородъ въ 16 разъ тяжелѣе водорода. Слѣдовательно, молекулярный вѣсъ кислорода составляетъ 32, и такъ какъ его молекула состоитъ изъ двухъ атомовъ, то атомный вѣсъ кислорода равенъ 16.

Пары фосфора тяжелѣе водорода въ 62 раза. Молекулярный вѣсъ фосфора, слѣдовательно, равенъ 124. Но молекула фосфора состоитъ изъ четырехъ атомовъ. Такимъ образомъ, атомный вѣсъ фосфора равенъ 31.

Подобнымъ же образомъ опредѣляется атомный вѣсъ и другихъ простыхъ веществъ, которыя могутъ быть изслѣдованы въ газообразномъ состояніи. Для остальныхъ простыхъ веществъ опредѣленіе производится помощью анализа ихъ соединеній съ тѣми простыми веществами, атомный вѣсъ которыхъ извѣстенъ.

Химическіе знаки обозначаютъ не только названія, но вмѣстѣ съ тѣмъ и атом-

http://matesis.ru

ные вѣса элементовъ. H обозначаетъ, слѣдовательно, одну вѣсовую часть водорода, S—32 вѣсовыхъ частей сѣры и т. д. Составъ химическихъ соединеній можетъ быть выраженъ помощью этихъ знаковъ въ очень простомъ видѣ. Такъ, напримѣръ, составъ сѣрной кислоты выражается формулой H_2SO_4. Эта формула означаетъ, что сѣрная кислота состоитъ изъ 2 вѣсовыхъ частей водорода, 32 вѣсовыхъ частей сѣры и 64 вѣсовыхъ частей кислорода.

343. Изъ многочисленныхъ химическихъ соединеній, получающихся при соединеніи элементовъ, здѣсь должны быть указаны только нѣкоторыя главныя ихъ группы. Такъ называемыя кислоты имѣютъ, какъ училъ уже Бойль, кислый вкусъ и превращаютъ, если онѣ жидки или растворены въ водѣ, синій цвѣтъ нѣкоторыхъ растительныхъ красокъ, напримѣръ, лакмуса, въ красный. Въ настоящее время прибавляютъ, что кислоты суть водородныя соединенія, водородъ которыхъ можетъ быть замѣщенъ металломъ.

Примѣры.

HCl, соляная кислота (хлористый водородъ),
H_2SO_4, сѣрная кислота,
HNO_3, азотная кислота (царская водка).

Уравненіе

$$H_2SO_4 + Fe = FeSO_4 + H_2$$

обозначаетъ, что при дѣйствіи сѣрной кислоты на желѣзо, послѣднее становится на мѣсто водорода кислоты, при чемъ одновременно водородъ выдѣляется или становится „свободнымъ“. Получающееся соединеніе $FeSO_4$ есть соль, сѣрнокислое желѣзо или сульфатъ желѣза. Въ этомъ химическомъ процессѣ два атома водорода замѣщены однимъ атомомъ желѣза. Поэтому называютъ водородъ одноатомнымъ и желѣзо двуатомнымъ. Атомъ желѣза равнозначенъ или эквивалентенъ двумъ атомамъ водорода.

Простыя вещества по атомности (валентности) распадаются на различныя группы.

Тѣ простыя вещества, одинъ атомъ которыхъ въ химическомъ соединеніи можетъ стать на мѣсто одного атома водорода, или одинъ атомъ которыхъ образуетъ химическое соединеніе съ однимъ атомомъ водорода, называются одноатомными.

Напротивъ, тѣ простыя вещества, атомы которыхъ замѣщаютъ два атома водорода или могутъ соединяться съ двумя атомами водорода, называются двуатомными. Равнымъ образомъ существуютъ трехатомныя, четырехатомныя и т. д. простыя вещества. Одноатомны, напримѣръ, водородъ, хлоръ, бромъ, іодъ, фторъ, натрій, калій, серебро; двуатомны кислородъ, сѣра, кальцій, барій, магній, цинкъ, свинецъ, желѣзо, ртуть, мѣдь; трехатомны азотъ, фосфоръ и золото; четырехатомны углеродъ, олово и платина.

Одно и то же простое вещество можетъ выступать съ различными атомностями. Желѣзо, напримѣръ, образуетъ два окисла, FeO, закись желѣза, и Fe_2O_3, окись желѣза. Въ первомъ соединеніи оно двуатомно, во второмъ трехатомно. Знаніе атомности въ высокой степени облегчаетъ пониманіе формулъ, помощью которыхъ выражается составъ химическихъ соединеній. Трехатомный азотъ образуетъ съ одноатомнымъ водородомъ соединеніе NH_3 (амміакъ). Четырехатомный углеродъ обра-

http://mathesis.ru

зуетъ съ O_2 „насыщенное“ соединеніе CO_2 (двуокись углерода), H_2 съ O образуетъ насыщенное соединеніе H_2O (воду).

344. Такъ называемыя основанія по Бойлю обладаютъ свойствомъ возстанавливать синій цвѣтъ лакмуса, измѣненный кислотою въ красный, и превращать желтый цвѣтъ куркумы въ коричневый.

Основанія, какъ мы знаемъ теперь, суть гидраты окисей, т. е. соединенія металловъ съ такъ называемой гидроксильной группой OH. Эта атомная группа не насыщена, такъ какъ кислородъ двуатоменъ, а водородъ одноатоменъ. Группа OH содержитъ еще одну „свободную“ атомность, которая насыщается металломъ при образованіи основанія. Гидратъ окиси натрія есть $NaOH$, гидратъ окиси мѣди $Cu(OH)_2$.

Большинство гидратовъ окисей въ водѣ нерастворимы. Растворимы гидраты окисей такъ называемыхъ щелочныхъ металловъ (калія, натрія и нѣкоторыхъ другихъ рѣдкихъ металловъ) и щелочноземельныхъ металловъ (кальція, стронція, барія и магнія). Растворы эти обладаютъ щелочнымъ вкусомъ.

345. При дѣйствіи кислоты на основаніе имѣетъ мѣсто слѣдующій процессъ (реакція):

$$H_2SO_4 + Zn(OH)_2 = 2H_2O + ZnSO_4.$$

Цинкъ становится на мѣсто водорода сѣрной кислоты, а водородъ на мѣсто цинка гидрата окиси. Получаются два новыя соединенія: вода и цинковая соль сѣрной кислоты, — сѣрнокислый цинкъ или сульфатъ цинка. Когда двѣ жидкости, изъ которыхъ одна содержитъ кислоту, а другая гидратъ окиси (гидратъ окиси калія, ѣдкое кали, или гидратъ окиси натрія, ѣдкій натръ), смѣшаны въ извѣстномъ отношеніи, то смѣсь не содержитъ больше ни кислоты ни гидрата окиси, а только соль. Этотъ процессъ образованія соли называется нейтрализаціей.

Кислоты, основанія и соли — три главныя группы химическихъ соединеній, которыя являются особенно важными въ связи съ извѣстными физическими явленіями.

346. Атомная теорія Дальтона очень хорошо объясняетъ закономѣрность въ строеніи химическихъ соединеній, но она не разъясняетъ, почему атомы образуютъ соединенія.

Демокритъ (§ 323), болѣе 2000 лѣтъ тому назадъ установившій основанную только на умозаключеніяхъ атомную теорію, допускалъ, что атомы соединяются вслѣдствіе дѣйствія силъ, составляющихъ принадлежность сущности самихъ атомовъ. Также и Робертъ Бойль говоритъ о силахъ, которыя дѣйствуютъ при химическихъ процессахъ между мельчайшими частицами тѣлъ.

Въ настоящее время причину, лежащую въ основѣ химическихъ процессовъ, называютъ химическимъ сродствомъ. Слово это, которое употреблялось уже Альбертомъ Магнусомъ, выбрано не очень удачно, такъ какъ оно указываетъ на родство веществъ, которыя легко соединяются другъ съ другомъ. Но вещества, испытывающія большое химическое тяготѣніе другъ къ другу, по своимъ свойствамъ не похожи, а, напротивъ, очень различны. О самой сущности сродства болѣе опредѣленно ничего неизвѣстно. Извѣстно только, что оно дѣйствуетъ на очень незначительныхъ разстояніяхъ и что на него оказываютъ вліяніе теплота, свѣтъ и электричество. Вещества, которыя должны дѣйствовать химически другъ на друга, по возможности употребляются въ жидкомъ (расплавленномъ или растворенномъ) состояніи, потому

http://matesis.ru

что въ этомъ состоянiи молекулы могутъ приближаться другъ къ другу больше, чѣмъ въ твердомъ состоянiи. Но, чтобы возбудить дѣятельность сродства, можно поступить и иначе. При обыкновенной температурѣ сѣрная кислота почти совсѣмъ не дѣйствуетъ на мѣдь. Наоборотъ, въ горячей сѣрной кислотѣ мѣдь растворяется, образуя сульфатъ мѣди и двуокись сѣры.

Какъ теплота, свѣтъ также можетъ дать толчокъ къ химическимъ реакціямъ. Если смѣшать въ темной комнатѣ равные объемы газообразныхъ элементовъ водорода и хлора, то они не соединяются. Но если эту смѣсь подвергнуть дѣйствію солнечныхъ лучей, то эти два элемента со взрывомъ соединяются въ хлористый водородъ. То же самое имѣетъ мѣсто, если черезъ смѣсь этихъ газовъ пропустить электрическую искру.

Изъ этихъ примѣровъ ясно, что естественныя силы, теплота, свѣтъ, электричество, оказываютъ большое вліяніе на естественную силу, которая зовется химическимъ сродствомъ.

Теплота, свѣтъ и электричество могутъ, однако, не только вызывать образованіе химическихъ соединенiй, но они также могутъ вызвать и какъ разъ обратное, т. е. разложеніе соединенiй на ихъ составныя части, иными словами, они могутъ уничтожать химическое сродство. Водяной паръ распадается на водородъ и кислородъ, при нагрѣванiи его отъ 2000° до 3000°. Азотная кислота подъ вліяніемъ свѣта претерпѣваетъ разложеніе. Фотографія основывается на томъ, что находящаяся на свѣточувствительной пластинкѣ соль серебра подъ вліяніемъ свѣта разлагается.

347. Когда заходитъ рѣчь о химическомъ дѣйствiи электричества, то обыкновенно прежде всего является мысль объ электрическомъ токѣ. Однако, не слѣдуетъ забывать, что электрическая искра есть также токъ, именно токъ высокаго напряженія очень короткой продолжительности.

Первыя наблюденія надъ химическими дѣйствіями электричества связаны съ разрядами электрическихъ машинъ и лейденскихъ банокъ. Результаты, однако, были ненадежны и для болѣе позднихъ изслѣдованiй имѣли мало значенія. Мы поэтому не будемъ ими подробно заниматься. Слѣдуетъ только упомянуть, что уже въ 1789 году два голландскихъ изслѣдователя открыли, что сильнымъ электрическимъ разрядомъ вода разлагается на горючiй воздухъ (водородъ) и жизненный воздухъ (кислородъ). Еще позже Беккаріа замѣтилъ образованіе металлическаго цинка, когда электрическая искра проскакивала между двумя кусками цинковой окалины (окиси цинка).

Бóльшая опредѣленность въ изученiи этихъ явленiй наступила только съ открытіемъ полученія электрическаго тока отъ гальваническихъ элементовъ. За первыми открытіями Никольсона и Карлейля, а также Риттера (§ 316 до 318) скоро послѣдовали новыя важныя наблюденія, которыя легли въ основаніе новой науки, электрохимiи.

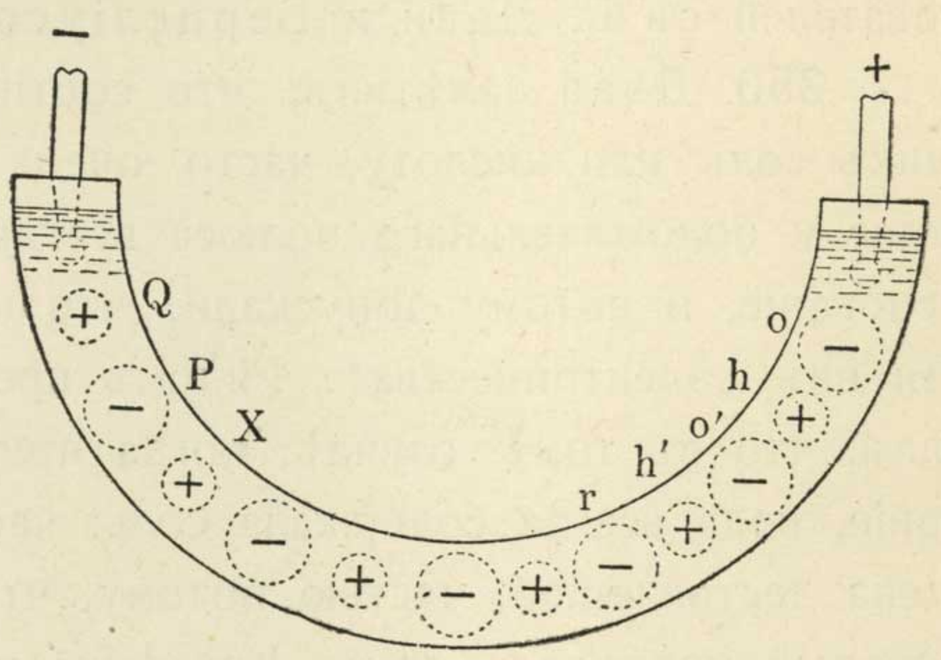
348. Въ первые годы XIX столѣтія многими физиками было доказано, что растворы солей разлагаются электрическимъ токомъ такъ, что металлъ (такъ же, какъ водородъ при разложенiи воды) выдѣляется на отрицательномъ полюсѣ. (Металлъ идетъ съ токомъ, ср. рис. 268). При этихъ изслѣдованiяхъ возникали различные вопросы относительно происходящаго отъ дѣйствія электрическаго тока разложенія химическихъ соединенiй. Почему, напримѣръ, при разложенiи воды водородъ и кислородъ выдѣляются только на полюсахъ? И получаются ли водородъ, выдѣляющiйся на одномъ полюсѣ, и кислородъ, одновременно выдѣляющiйся на другомъ полюсѣ, отъ

http://mathesis.ru

разложенія однѣхъ и тѣхъ же молекулъ воды или же различныхъ? Первый опытъ для теоретическаго выясненія явленій разложенія воды былъ произведенъ Гроттгусомъ. Гроттгусъ родился въ Лейпцигѣ въ 1785 году и былъ сынъ курляндскаго дворянина; онъ занимался съ 1803 года сначала въ Лейпцигѣ, затѣмъ въ Парижѣ, гдѣ учителями его были Бертолле и Фуркруа, и наконецъ въ Неаполѣ, гдѣ и разработалъ свою теорію гальваническаго разложенія воды. Съ 1807 года до своей смерти —онъ умеръ въ возрастѣ всего 37 лѣтъ—Гроттгусъ жилъ, усердно занимаясь физическими науками, въ своемъ наслѣдственномъ имѣніи Геддуцъ.

Гроттгусъ наглядно представлялъ свой взглядъ на разложеніе воды при помощи воспроизведеннаго ниже рисунка (рис. 278). Концы проволокъ гальванической батареи погружены въ изогнутую стеклянную трубку, наполненную подкисленной водой. Гроттгусъ сравнивалъ гальваническій элементъ съ магнитомъ, который имѣетъ положительный (+) и отрицательный (—) полюсы, и допускалъ, что молекула воды обладаетъ подобной же полярностью, такъ что водородъ является электрически положительнымъ, а кислородъ электрически отрицательнымъ. Если же пропускать чрезъ воду электрическій токъ, то полярность молекулъ воды обнаруживается и молекулы располагаются обозначеннымъ на рисункѣ образомъ. Атомы кислорода обращены къ положительному полюсу, атомы водорода къ отрицательному. Молекула воды на положительномъ полюсѣ расщепляется, кислородъ *o* становится свободнымъ, но водородъ *h* тотчасъ же соединяется съ кислородомъ *o′* ближайшей молекулы воды. Водородъ *h′* этой послѣдней молекулы соединяется съ кислородомъ *r* слѣдующей молекулы воды и т. д. Водородъ *Q* той молекулы, которая находится на отрицательномъ полюсѣ, выдѣляется на этомъ полюсѣ. Такимъ образомъ Гроттгусъ допускалъ, что распаденіе молекулъ воды имѣетъ мѣсто во всей жидкости и что атомы водорода и кислорода соединяются въ новыя молекулы. Одна изъ крайнихъ молекулъ отдаетъ свой кислородъ, другая свой водородъ. Какъ только это произошло, молекулы воды поворачиваются, такъ что снова обращаются кислородомъ къ положительному полюсу, водородомъ къ отрицательному. Объясненіе разложенія воды Гроттгусомъ долгое время было наилучшимъ изъ всѣхъ имѣвшихся. Оно имѣло за собою большое преимущество удобопонятности. Однако, въ связи съ извѣстными явленіями, противорѣчившими этой теоріи, позже ее замѣнили другой (§ 355).

Рис. 278



Объясненіе разложенія воды по Гроттгусу.

349. Нахожденіе правильнаго объясненія химическаго дѣйствія электрическаго тока представляло особенный интересъ еще и потому, что самъ гальваническій элементъ дѣйствуетъ только до тѣхъ поръ, пока въ немъ имѣетъ мѣсто химическая реакція. Не подлежало сомнѣнію, что электрическія и химическія явленія находятся въ очень тѣсной связи, и было трудно, если не невозможно, рѣшить, какое изъ двухъ явленій должно разсматривать, какъ причину, какое, какъ слѣдствіе, и не должны ли, быть можетъ, оба явленія разсматриваться, какъ слѣдствія одной и той же причины?

http://mathesis.ru

По мнѣнію Вольты источникъ электричества гальваническаго элемента лежитъ въ соприкосновеніи различныхъ тѣлъ, изъ которыхъ состоятъ элементы. Онъ зналъ, что вода въ элементахъ должна содержать соль или кислоту. Элементъ, содержащій одну чистую воду, тока не даетъ. Онъ объяснялъ это такъ же, какъ раньше Кэвендишъ, просто тѣмъ обстоятельствомъ, что чистая вода не проводитъ электричества. Невозможно разложить чистую воду электрическимъ токомъ, ибо токъ гальванической батареи не можетъ проникнуть чрезъ воду. Для обоснованія своего мнѣнія Вольта могъ указать на тотъ фактъ, что во многихъ случаяхъ между металлами и содержащими кислоту жидкостями имѣетъ мѣсто сильное химическое дѣйствіе, но при этомъ происходитъ только очень незначительное развитіе электричества. Взглядъ Вольты о мѣстѣ источника электричества долгое время оставался господствующимъ. Позже, однако, въ сильной степени упрочивается вліяніе электрохимическихъ изслѣдователей съ Г. Дэви и Берцеліусомъ во главѣ.

350. Дэви замѣтилъ, что соотношенія при разложеніи растворовъ, содержащихъ соль или кислоту, часто очень запутаны. Было найдено, что при разложеніи воды у положительнаго полюса всегда появляется кислота, у отрицательнаго полюса основаніе, и потому допускали, что какъ кислота, такъ и основаніе состоятъ отчасти изъ „электричества“. Рядомъ превосходно выполненныхъ опытовъ Дэви показалъ, что въ томъ случаѣ, когда при разложеніи воды появлялись кислота и основаніе, вода всегда содержала соль, частью потому, что вода была недостаточно очищена дестилляціей, частью потому, что растворялось водою вещество сосуда, чрезъ который проходилъ токъ. Когда же присутствуетъ соль, то она токомъ разлагается и одна часть ея направляется къ положительному полюсу, другая къ отрицательному. Дэви показалъ, напримѣръ, что, если пропускать токъ чрезъ растворъ сульфата калія, то у отрицательнаго полюса появляется гидратъ окиси калія, а у положительнаго сѣрная кислота. Эти химическія реакціи нашли свое объясненіе благодаря открытію щелочныхъ металловъ калія и натрія. Было сдѣлано предположеніе, что вещества, извѣстныя подъ названіями ѣдкаго кали и ѣдкаго натра, представляютъ сложныя тѣла. Дэви прежде всего и старался разложить ихъ дѣйствіемъ электрическаго тока на водные растворы. Это ему, однако, не удавалось. Тогда онъ нагрѣлъ сухое ѣдкое кали на платиновой пластинкѣ, соединилъ послѣднюю съ отрицательнымъ полюсомъ сильной гальванической батареи и погрузилъ платиновую проволоку, соединенную съ положительнымъ полюсомъ, въ расплавленное ѣдкое кали. На отрицательномъ полюсѣ появился блестящій свѣтъ, шедшій отъ выдѣлившагося горючаго вещества. Чтобы предупредить горѣніе послѣдняго, Дэви перемѣнилъ полюсы и употребилъ такой сильный токъ, что ѣдкое кали расплавилось. Тогда на платиновой пластинкѣ (покрытой расплавленнымъ ѣдкимъ кали) появились маленькіе, похожіе на ртуть, металлическіе шарики, которые на воздухѣ быстро тускнѣли и снова превращались въ ѣдкое кали.

Эти металлическіе шарики состояли изъ калія. Калій нельзя получить мокрымъ путемъ, т. е. дѣйствіемъ тока на водный растворъ гидрата окиси, ибо онъ имѣетъ такое большое сродство съ кислородомъ, что разлагаетъ воду, причемъ соединяется съ ея кислородомъ, а водородъ освобождаетъ. Если бросить кусочекъ калія въ воду, то водородъ воспламеняется благодаря выдѣлившейся, вслѣдствіе химической реакціи, теплотѣ.

http://mathesis.ru

Что при разложеніи сульфата калія на отрицательномъ полюсѣ появляется кромѣ водорода также гидратъ окиси калія, а на положительномъ полюсѣ кромѣ кислорода также сѣрная кислота, теперь можетъ быть легко объяснено.

Составъ сульфата калія выражается формулой K_2SO_4. Появляющійся на отрицательномъ полюсѣ калій дѣйствуетъ на воду такъ, что получаются гидратъ окиси калія и свободный водородъ:

$$K_2 + 2H_2O = 2KOH + H_2.$$

Кислотный остатокъ SO_4, который выдѣлился на положительномъ полюсѣ, также производитъ разложеніе воды, и именно такъ, что получаются сѣрная кислота и свободный кислородъ:

$$SO_4 + H_2O = H_2SO_4 + O.$$

Получающіеся при разложеніи сульфата калія водородъ и кислородъ выдѣляются не вслѣдствіе распаденія воды на ея составныя части, а благодаря „вторичнымъ“ процессамъ. Для того, чтобы понять явленіе электрическаго разложенія, нужно внимательно разобраться въ этихъ процессахъ. Чистая вода не проводитъ электрическаго тока и потому токомъ не разлагается. Напротивъ, если къ водѣ прибавлено нѣкоторое количество сѣрной кислоты, то вода проводитъ токъ и послѣднимъ разлагается на свои двѣ составныя части или, лучше сказать, ея двѣ составныя части, водородъ и кислородъ, собираются на полюсахъ въ такихъ количествахъ, какъ будто имѣло мѣсто прямое разложеніе воды. Но то, что разлагается при образованіи водорода и кислорода и постоянно образуется вновь, есть не вода, а сѣрная кислота, H_2SO_4. Эта послѣдняя разлагается электрическимъ токомъ на H_2 и SO_4. Водородъ выдѣляется на отрицательномъ полюсѣ. На положительномъ полюсѣ вслѣдствіе дѣйствія SO_4 на H_2O получаются сѣрная кислота и свободный кислородъ.

Дэви открылъ также металлъ натрій, свойства котораго имѣютъ большое сходство со свойствами калія. Онъ получилъ его дѣйствіемъ электрическаго тока на расплавленный ѣдкій натръ (гидратъ окиси натрія). Позже ему удалось получить тѣмъ же способомъ такъ называемые щелочноземельные металлы изъ ихъ кислородныхъ соединеній.

351. Открытія Дэви обратили на себя всеобщее вниманіе и французская Академія почтила изслѣдователя уже при появленіи его первой статьи, присудивъ ему премію, которую Наполеонъ назначилъ за лучшую работу по гальванизму. Отъ введенія электрическаго тока въ число средствъ экспериментальной химіи ожидали большихъ результатовъ.

Однако, прошелъ цѣлый рядъ лѣтъ, прежде чѣмъ блестящія открытія Дэви нашли продолженіе. Электрохимическія теоріи Дэви и Берцеліуса (или Швейггера и Гмелина) были недостаточны, чтобы побудить къ новымъ плодотворнымъ изслѣдованіямъ.

Электрохимическая теорія Дэви вкратцѣ заключалась въ слѣдующемъ. Химическія соединенія получаются и разлагаются вслѣдствіе электрическихъ притяженій и отталкиваній. То, что Вольта наблюдалъ на металлахъ, а именно, возникновеніе разности напряженій, когда два металла соприкасаются, относится ко всѣмъ тѣламъ, которыя оказываютъ другъ на друга химическое притяженіе. Разложеніе при помощи электрическаго тока онъ объяснялъ допущеніемъ, что вещества пріобрѣтаютъ такой избытокъ электричества, что приходятъ въ „свободное“ состояніе, т. е. что они

http://mathesis.ru

становятся или положительно или отрицательно электрическими и поэтому двигаются къ отрицательному или положительному полюсу. Калій, напримѣръ, сильно электроположителенъ, кислородъ сильно электроотрицателенъ и всѣ вещества могутъ быть расположены въ рядъ по своему электричеству. Теорія Дэви есть не что иное, какъ расширеніе теоріи соприкосновенія Вольты. Что касается реакціи химическаго разложенія, то здѣсь Дэви примыкалъ къ взглядамъ Гроттгуса.

Въ бо̀льшей степени, чѣмъ Дэви, въ построеніи первыхъ электрохимическихъ теорій принималъ участіе шведскій химикъ Якобъ Берцеліусъ (1779—1848). Причина этого лежитъ въ томъ, что Берцеліусъ создалъ большую, чѣмъ кто-либо другой изъ химиковъ, школу, отчасти благодаря своимъ многочисленнымъ превосходнымъ работамъ, отчасти благодаря своимъ знаменитымъ ученикамъ, какъ, напримѣръ, Мичерлихъ. Во второмъ десятилѣтіи предыдущаго столѣтія Стокгольмъ былъ центромъ химическихъ изслѣдованій.

Берцеліусу и его ученикамъ принадлежитъ большая заслуга въ томъ отношеніи, что они занялись подтвержденіемъ предложенной Дальтономъ гипотезы при помощи тщательныхъ опытовъ. Берцеліусъ пошелъ по стопамъ Лавуазье, предоставивъ вѣсамъ то мѣсто въ химіи, которое имъ принадлежитъ по праву, и проложилъ путь примѣненію аналитической химіи къ органическимъ веществамъ, указавъ новые методы работъ, благодаря которымъ можно было опредѣлять съ помощью вѣсовъ составъ этихъ веществъ.

Свои электрохимическія изслѣдованія Берцеліусъ началъ уже въ 1802 году, но въ этой области онъ много уступалъ Дэви. Вліяніе Берцеліуса въ области электрохиміи основывается не на экспериментальныхъ его изслѣдованіяхъ, а на электрохимической теоріи, которую онъ опубликовалъ во второмъ изданіи своего знаменитаго руководства химіи, появившемся въ 1818 году.

Въ противоположность Дэви Берцеліусъ полагалъ, что атомы простыхъ веществъ обладаютъ двумя различными электрическими полюсами, но не одинаковой силы, и что химическое притяженіе имѣетъ мѣсто между веществами, которыя содержатъ противоположныя электричества въ избыткѣ. Берцеліусъ, слѣдовательно, не находилъ необходимымъ разсматривать химическое притяженіе, какъ слѣдствіе электричества при соприкосновеніи, и въ этомъ отношеніи могъ чувствовать себя свободнѣе, чѣмъ Дэви. Но его теорія требуетъ, чтобы простыя вещества сами по себѣ были или электрически положительны или электрически отрицательны. Доказательства же этого допущенія не дали ни Берцеліусъ, ни болѣе поздніе изслѣдователи. Такъ же, какъ и Дэви, Берцеліусъ дѣлилъ вещества въ соотвѣтствіи съ тѣмъ, какъ они разлагались электричествомъ, на электроположительныя и электроотрицательныя.

352. Открытія Дэви побудили многихъ изслѣдователей обратить вниманіе на область электрохиміи; однако, несмотря на это, въ ближайшія 20 лѣтъ не было сдѣлано ни одного открытія въ этой области, достойнаго упоминанія. Не сдѣлала успѣховъ въ этотъ промежутокъ времени и теорія. Въ двадцатыхъ годахъ, какъ мы скоро увидимъ, привлекла къ себѣ всеобщее вниманіе совершенно другая область ученія объ электричествѣ. Ближайшій крупный шагъ впередъ въ области электрохиміи связанъ съ именемъ ученика и послѣдователя Дэви, Майкеля Фарадэя.

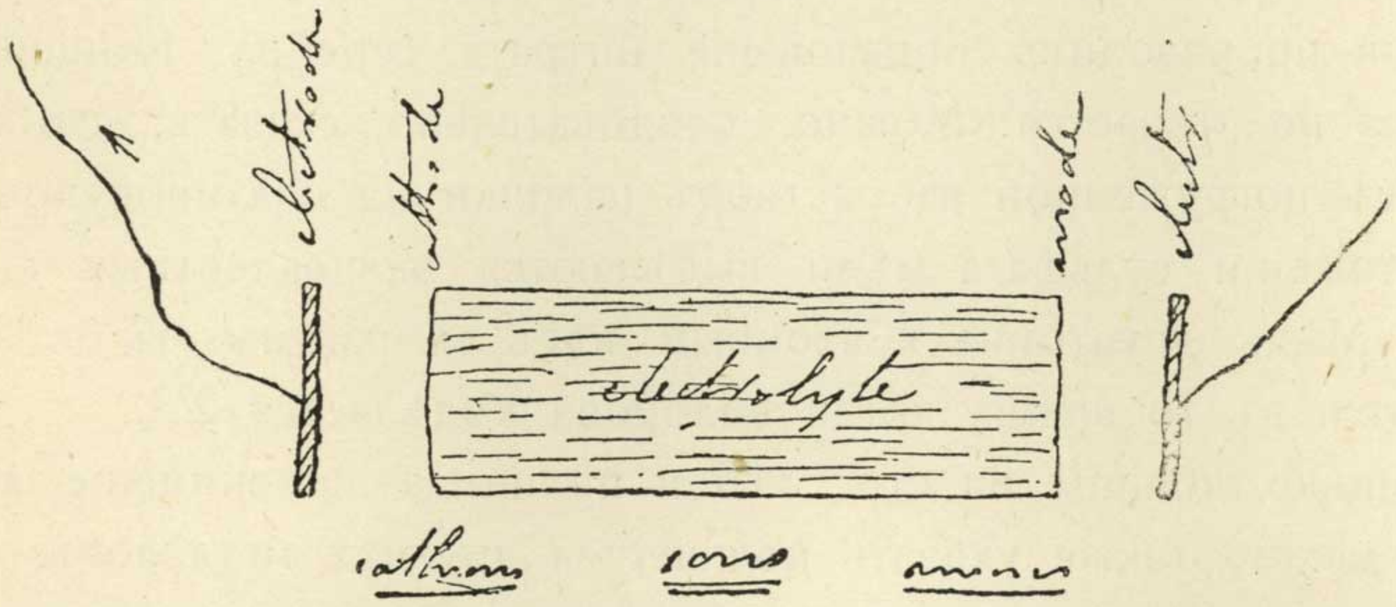
http://mathesis.ru

Онъ представилъ свой знаменитый докладъ о химическомъ дѣйствіи электрическаго тока въ Royal Society въ январѣ 1834 года.

Чтобы быть въ состояніи ясно излагать трактуемыя имъ физикохимическія соотношенія Фарадэй ввелъ рядъ новыхъ обозначеній, вошедшихъ во всеобщее употребленіе. Полюсы, т. е. тѣ мѣста, гдѣ электрическій токъ при электрическомъ разложеніи входитъ и выходитъ, онъ назвалъ электродами, и именно положительный полюсъ анодомъ, отрицательный катодомъ. Вещество, которое можетъ быть разложено электрическимъ токомъ, называется электролитомъ, а явленіе разложенія электролизомъ. Вещества, которыя выдѣляются при электролизѣ на полюсахъ, Фарадэй также обозначилъ особыми именами. Раньше ихъ называли электроположительными и электроотрицательными составными частями соединеній. Фарадэй назвалъ ту часть электролита, которая „переходитъ“ къ аноду, аніономъ, ту часть которая движется къ катоду, катіономъ (отъ греческаго слова *ἰων*—идущій, странствующій). Аніонъ и катіонъ называются общимъ именемъ іоновъ. При электролизѣ сульфата мѣди $CuSO_4$, напримѣръ, Cu есть катіонъ, SO_4 аніонъ.

353. Фарадэй изслѣдовалъ химическое дѣйствіе электрическаго тока гораздо подробнѣе, чѣмъ это дѣлалось раньше. Онъ нашелъ, что электрическій токъ опредѣленной силы въ извѣстное время разлагаетъ всегда одно и то же количество электролита. Одинъ токъ разлагаетъ, напримѣръ, всегда одно и то же количество воды,

Рис. 279



Рисунокъ Фарадэя съ электролитическими наименованіями.

безразлично, бо́льшей или меньшей величины электроды, больше или меньше содержитъ вода кислоты (или растворенной соли). Онъ доказалъ это тѣмъ, что пропускалъ одинъ и тотъ же электрическій токъ чрезъ рядъ приборовъ для разложенія воды, у которыхъ электроды были различной величины и въ которыхъ къ водѣ были прибавлены неодинаковыя количества кислоты.

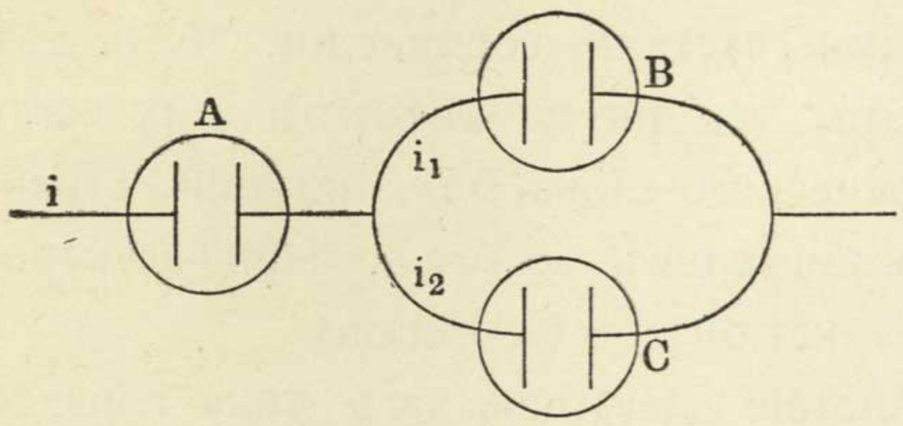
Другимъ вопросомъ былъ вопросъ о томъ, какая зависимость существуетъ между химической работой и силой электрическаго тока. Чтобы дать отвѣтъ на этотъ вопросъ, Фарадэй произвелъ слѣдующій опытъ. *A*, *B* и *C* (рис. 280) представляютъ три прибора для разложенія воды. Токъ *i* гальванической батареи идетъ неразвѣтвленнымъ черезъ *A*, а затѣмъ развѣтвляется на двѣ части i_1 и i_2, изъ которыхъ одна идетъ чрезъ *B*, другая черезъ *C*. Затѣмъ обѣ вѣтви тока соединяются снова и возвращаются въ батарею. Оба тока i_1 и i_2 вмѣстѣ, очевидно, совершенно такой же силы, какъ и токъ *i*; оказалось, что въ обоихъ приборахъ *B* и *C* вмѣстѣ выдѣляется то же количество водорода, что и въ приборѣ *A*. Отсюда Фарадэй

http://mathesis.ru

вывелъ важное заключеніе, что химическая работа электрическаго тока растетъ въ томъ же отношеніи, что и сила тока. Токъ вдвое сильнѣе производитъ и вдвое больше работы. Подъ силой тока слѣдуетъ понимать количество электричества, которое приводитъ съ собою токъ.

354. Фарадэй сдѣлалъ далѣе открытіе, что, если одинъ токъ разлагаетъ одновременно два тѣла, то выдѣляются эквивалентныя количества этихъ тѣлъ. Если, напримѣръ, разлагаются вода и нитратъ серебра, то выдѣляются эквивалентныя количества водорода и серебра. Такъ какъ водородъ и серебро оба одноатомны (срав. § 343), то выдѣленіе эквивалентныхъ количествъ равнозначно выдѣленію равнаго числа атомовъ. Такъ какъ, далѣе, атомный вѣсъ водорода равенъ 1, а атомный вѣсъ серебра 107·9, то 107·9 *г* серебра выдѣлятся въ то же время, въ какое выдѣлится и 1 *г* водорода.—Разложеніе соли серебра лучше всего производить въ платиновой чашкѣ. Въ растворъ соли погружается серебряная палочка такъ, чтобы она не касалась чашки, а токъ замыкаютъ такъ, чтобы анодомъ служила серебряная палочка, а катодомъ платиновая чашка. Нитратъ серебра, $AgNO_3$, разлагается на Ag и NO_3. Серебро, какъ аніонъ, выдѣляется на платинѣ, тогда какъ кислотный остатокъ NO_3, какъ катіонъ, выдѣляется на серебряной палочкѣ, гдѣ и производитъ образованіе нитрата серебра. Концентрація раствора нитрата серебра не мѣняется. Можно, слѣдовательно, сказать, что серебро переносится токомъ съ погруженной въ растворъ палочки на платиновую чашку.

Рис. 280



Электролитическій законъ Фарадэя.

При разложеніи сульфата мѣди выдѣляются эквивалентныя количества водорода и мѣди. Мѣдь двуатомна и атомный вѣсъ ея равенъ 63·6. Значитъ, 63·6 *г* мѣди выдѣляются въ то время, когда водорода выдѣляется 2 *г*.

Съ помощью таблицы на стр. 315 и принимая во вниманіе атомность металловъ (§ 343), можно также указать количества другихъ металловъ, какіе выдѣлятся подъ дѣйствіемъ электрическаго тока изъ растворовъ ихъ солей въ то время, какъ въ приборѣ для разложенія воды выдѣляется извѣстное количество водорода.

Своимъ электролитическимъ закономъ Фарадэй далъ ясное представленіе явленій электролиза и точное основаніе для измѣренія силы тока. Если, напримѣръ, изслѣдуютъ два тока и находятъ, что одинъ токъ выдѣляетъ водорода въ три раза больше, чѣмъ другой въ то же самое время, то первый токъ будетъ сильнѣе втораго въ три раза. Приборъ для разложенія воды, которымъ пользуются для измѣренія силы тока, называется вольтаметромъ. Такіе приборы были въ употребленіи задолго до Фарадэя, но только Фарадэй далъ правильное объясненіе ихъ дѣйствія. Само собою понятно, приборъ, въ которомъ разлагается нитратъ серебра, можетъ служить также измѣрителемъ тока. Такой приборъ называется серебрянымъ вольтаметромъ.

355. Мы не будемъ входить ближе въ теоретическія разсужденія Фарадэя о процессѣ электролиза. Но зато должно быть вкратцѣ разъяснено, какъ понимаютъ этотъ процессъ въ настоящее время. Теорія электролиза Гроттгуса не могла долго удерживаться. Она нуждалась въ допущеніи, что электролизъ насту-

http://mathesis.ru

паетъ только тогда, когда токъ достигнетъ извѣстной силы, ибо электролизъ по Гроттгусу начинался съ того, что по пути тока распадались всѣ молекулы. Другое обстоятельство, которое нельзя объяснить помощью теоріи Гроттгуса, есть то, что электрическій токъ измѣняетъ растворъ электролита у анода и катода. Въ указанной ниже схемѣ пусть A изображаетъ анодъ, K катодъ. Электролитомъ пусть будетъ сульфатъ мѣди. Прежде чѣмъ начинается электролизъ, электролитъ находится въ состояніи, которое наглядно можетъ быть представлено въ слѣдующемъ видѣ:

$$A \left\{ \begin{matrix} Cu & Cu & Cu & & Cu & Cu & Cu \\ SO_4 & SO_4 & SO_4 & & SO_4 & SO_4 & SO_4 \end{matrix} \right\} K.$$

Здѣсь связанные аніоны и катіоны помѣщены (по способу изложенія, которымъ впервые пользовался Берцеліусъ) другъ надъ другомъ и другъ подъ другомъ. Въ серединѣ находится пористая перегородка, которая не мѣшаетъ электролизу. Если теперь электрическій токъ проходитъ черезъ жидкость въ направленіи отъ A къ K, то мѣдь, какъ катіонъ, движется къ K, а кислотный остатокъ SO_4, какъ аніонъ, къ A. Движеніе іоновъ можно представить себѣ, какъ параллельное (горизонтальное) сдвиганіе. Спустя короткое время состояніе, въ которомъ находится электролитъ, будетъ слѣдующее:

$$A \left\{ \begin{matrix} & Cu & Cu & & Cu & Cu & 2Cu \\ 2SO_4 & SO_4 & SO_4 & & SO_4 & SO_4 & \end{matrix} \right\} K.$$

Такимъ образомъ, на каждой сторонѣ перегородки находится одной молекулой $CuSO_4$ меньше и черезъ перегородку прошли одинъ аніонъ Cu слѣва направо и одинъ катіонъ SO_4 справа налѣво. Въ такомъ видѣ явленіе протекало бы по теоріи Гроттгуса, еслибы іоны двигались одинаково быстро.—Но опытъ учитъ, что во время электролиза нарушается равномѣрный составъ, который имѣла жидкость вначалѣ. Пулье нашелъ, напримѣръ, при электролизѣ раствора хлорнаго золота, что жидкость на катодѣ была почти совсѣмъ свободна отъ золота, несмотря на то, что въ растворѣ содержалось еще значительное количество золота.

Эти характерныя явленія нельзя объяснить съ помощью теоріи Гроттгуса. Чтобы приспособить теорію передвиженія іоновъ къ упомянутымъ опытамъ, необходимо было выставить очень смѣлую гипотезу. И по теоріи Гроттгуса іоны движутся и вращаются, но объясненіе имѣло въ себѣ нѣчто наглядное въ томъ отношеніи, что сосѣднія молекулы дѣйствовали другъ на друга непосредственно, въ то время какъ аніонъ и катіонъ двигались съ одинаковой скоростью въ противоположныхъ направленіяхъ. Но чтобы объяснить наблюденія Пулье и другихъ физиковъ при помощи теоріи передвиженія іоновъ, необходимо было допустить, что аніонъ и катіонъ движутся съ различной скоростью. Это допущеніе и подтвержденіе его опытнымъ путемъ принадлежитъ Вильгельму Гитторфу.

Мы воспользуемся разсужденіемъ Гитторфа въ примѣненіи къ электролизу хлорнаго золота Пулье. До начала электролиза растворъ по обѣ стороны перегородки одинаковъ.

$$A \left\{ \begin{matrix} Au & Au & Au & & Au & Au & Au \\ Cl_3 & Cl_3 & Cl_3 & & Cl_3 & Cl_3 & Cl_3 \end{matrix} \right\} K.$$

Если допустить теперь, напримѣръ, что во время электролиза аніоны движутся вдвое быстрѣе катіоновъ, то состояніе раствора тотчасъ же станетъ слѣдующимъ:

$$A \left\{ \begin{matrix} & Au & Au & & Au & 3Au \\ 3Cl_3 & Cl_3 & Cl_3 & & Cl_3 & \end{matrix} \right\} K.$$

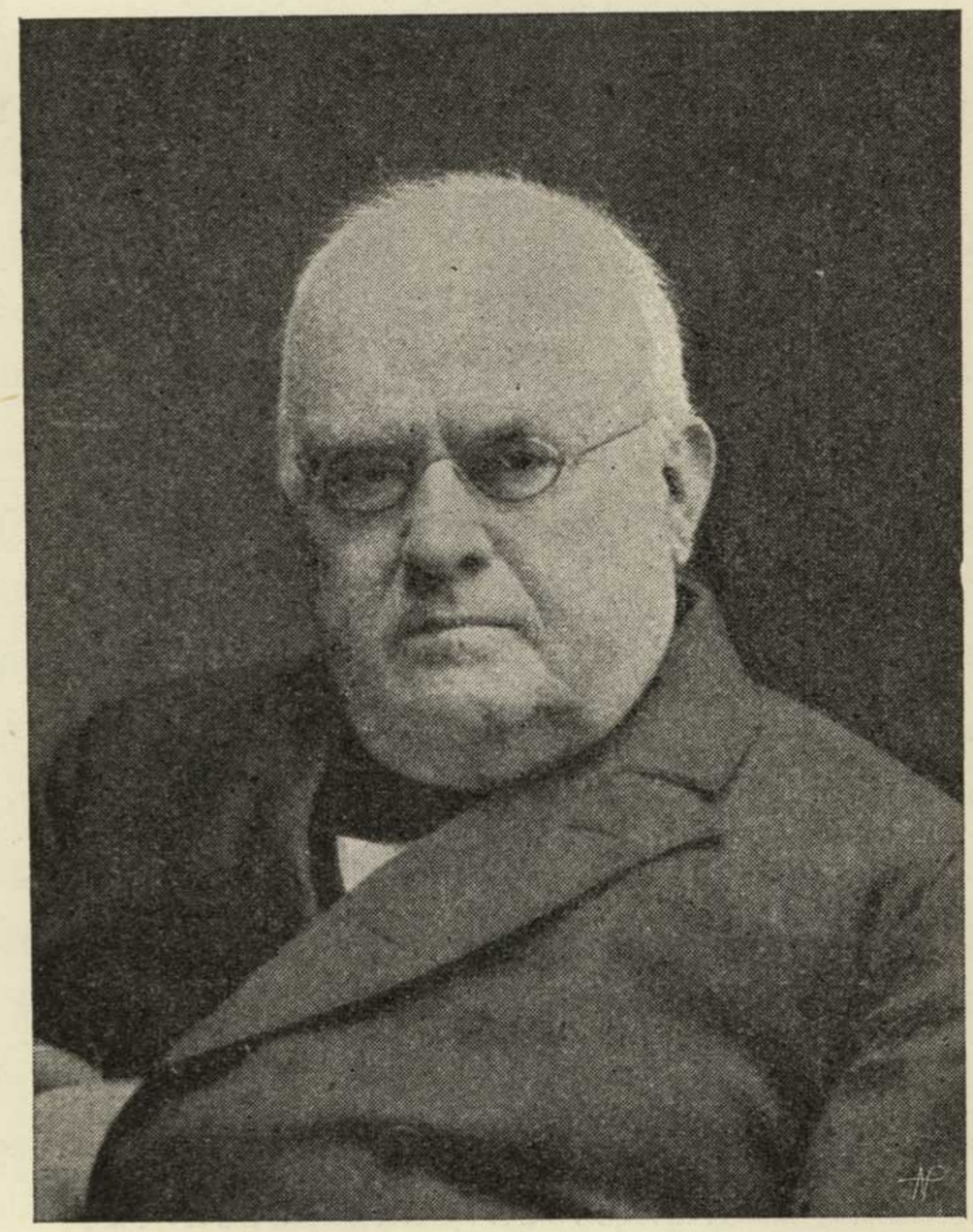
http://mathesis.ru

Въ то время какъ черезъ перегородку прошло два аніона, катіонъ прошелъ только одинъ. Теперь растворъ на катодѣ бѣднѣе золотомъ (Au), чѣмъ растворъ на анодѣ. Именно, три атома золота 3Au выдѣлились на катодѣ и, слѣдовательно, не находятся больше въ растворѣ.

356. Гитторфъ (род. въ Боннѣ въ 1824 году, съ 1852 года профессоръ въ Мюнстерѣ) опубликовалъ свою первую работу по этому вопросу въ 1853 году, но его гипотеза, что іоны движутся не съ одинаковой скоростью, не встрѣтила сочувствія, несмотря на то, что онъ обосновалъ ее длиннымъ рядомъ опытовъ. Скорость іоновъ онъ опредѣлялъ помощью анализа растворовъ у электродовъ.

Нѣсколькими годами позже Клаузіусъ (§ 180) опубликовалъ свои новыя разсужденія относительно состоянія электролитическихъ жидкостей. Онъ допустилъ, что въ растворѣ солей молекулы соли находятся въ состояніи быстраго движенія (ср. ки-

Рис. 281



Вильгельмъ Гитторфъ.

нетическую теорію газовъ, § 189) и, притомъ, что онѣ равномѣрно движутся по всѣмъ направленіямъ. Часть молекулъ соли по этой теоріи распадается на іоны, даже, если токъ не проходитъ черезъ растворъ. Іоны эти также движутся по всѣмъ направленіямъ. Когда токъ не проходитъ чрезъ растворъ, состояніе раствора не мѣняется. Правда, при сталкиваніи молекулъ другъ съ другомъ безпрерывно получаются свободные іоны, но при встрѣчахъ они вновь соединяются въ молекулы. Но какъ скоро чрезъ жидкость идетъ токъ, къ скоростямъ іоновъ прибавляется новая слагающая, а именно у аніоновъ въ направленіи къ аноду, у катіоновъ въ направленіи къ катоду. Вслѣдствіе этого іоны и собираются на погруженныхъ въ жидкость электродахъ.

Теорія Гитторфа и Клаузіуса сохранилась и въ послѣднія десятилѣтія развивалась дальше, особенно Сванте Арреніусомъ и Вильгельмомъ Оствальдомъ.

Но мы зашли бы слишкомъ далеко, еслибы вздумали остановиться ближе на работахъ этихъ двухъ изслѣдователей.

357. Химическое дѣйствіе электрическаго тока находитъ очень многостороннее примѣненіе въ техникѣ.

Въ 1837 году М. Г. Якоби (род. въ Потсдамѣ въ 1801 году, ум. въ Петербургѣ въ 1874 году), который въ то время былъ профессоромъ строительнаго искусства въ Дерптѣ (Юрьевѣ), пришла въ голову мысль воспользоваться гальваническимъ выдѣленіемъ металловъ для техническихъ цѣлей. При осажденіи мѣди на мѣдномъ электродѣ онъ наблюдалъ, что отложившійся слой образовывалъ сплошную массу, которую можно было снять съ электродовъ, причемъ форма послѣднихъ воспроизводилась до мельчайшихъ подробностей. Якоби получалъ такимъ образомъ оттиски мѣдныхъ гравюрныхъ досокъ, монетъ, медалей, барельефовъ и т. д. Формы передавались превосходно, но естественно, „въ обратномъ видѣ“, т. е. тамъ, гдѣ предметъ имѣлъ возвышеніе, оттискъ имѣлъ углубленіе и наоборотъ. Поэтому Якоби сталъ дѣлать изъ воска или гипса оттиски той формы, которую нужно было скопировать. На такой обратной формѣ и осаждается мѣдь, послѣ того какъ поверхность формы дѣлается проводникомъ электрическаго тока при помощи натиранія тонкимъ графитнымъ порошкомъ. Затѣмъ эту форму погружаютъ въ растворъ сульфата мѣди, обращая ее въ катодъ, анодомъ же служитъ мѣдная палочка. Если пропустить затѣмъ черезъ растворъ электрическій токъ, то форма покрывается слоемъ мѣди, очень точно воспроизводящимъ предметъ, оттиснутый на формѣ. Сколько мѣди выдѣляется на катодѣ, столько же растворяется ея на анодѣ, такъ что крѣпость раствора соли не подвергается никакому измѣненію. Если желаютъ получить выдѣляющуюся мѣдь въ видѣ сплошной массы, то токъ долженъ быть слабымъ, т. е. металлъ долженъ выдѣляться медленно.

Этотъ процессъ, такъ называемая гальванопластика, былъ открытъ, кромѣ Якоби, также Спенсеромъ въ Англіи. Обширное примѣненіе гальванопластика находитъ въ техникѣ иллюстрацій для полученія гальвано, т. е. мѣдныхъ копій рѣзьбы на деревѣ, которую необходимо воспроизвести помощью типографскаго станка въ очень большомъ количествѣ.

Тѣмъ же самымъ химическимъ процессомъ, на которомъ основана гальванопластика, можно пользоваться для полученія мѣдныхъ и стальныхъ гравюрныхъ досокъ. Доска, которая подлежитъ „рѣзьбѣ“, покрывается лакомъ и на немъ вычерчиваютъ рисунокъ, „гравюру“ котораго желаютъ имѣть, удаляя лакъ металлическимъ остріемъ на темныхъ мѣстахъ рисунка. Приготовленную такимъ образомъ мѣдную пластинку помѣщаютъ въ растворъ сульфата мѣди и дѣйствуютъ слабымъ электрическимъ токомъ, причемъ пластинка служитъ анодомъ. На тѣхъ мѣстахъ, гдѣ лакъ былъ удаленъ, мѣдь растворяется и получается „гравюра“ соотвѣтствующаго рисунка.

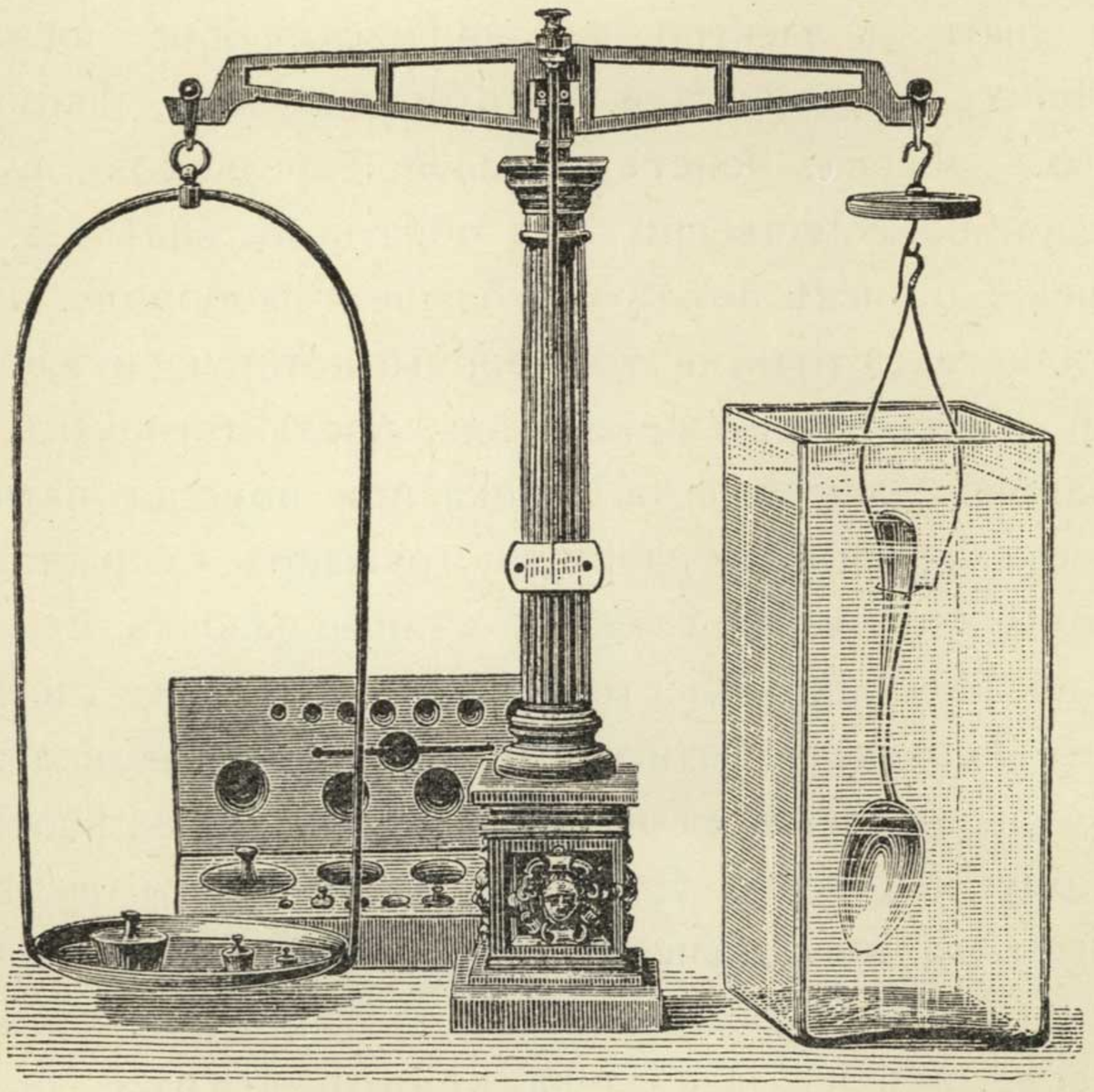
Такъ называемая гальваностегія или, какъ обыкновенно говорятъ, гальванизированіе, состоитъ въ выдѣленіи на одномъ металлѣ тонкаго слоя другого металла; послѣдній нельзя снять, какъ при гальванопластикѣ, съ предмета подъ нимъ, такъ какъ онъ прочно держится на немъ. Такимъ образомъ, гальваностегія служитъ для золоченія, серебренія, никкелированія и т. д. На рис. 282 представленъ процессъ серебренія, при которомъ операція можетъ быть прервана, какъ скоро на соотвѣтствующихъ предметахъ осядетъ достаточно толстый слой серебра. Подобные вѣсы для

http://rutracker.org

серебренія обыкновенно бываютъ снабжены приспособленіемъ, при помощи котораго токъ прерывается автоматически, когда выдѣлится слой серебра опредѣленнаго вѣса.

358. Электролизъ находитъ многообразное примѣненіе въ химической техникѣ и металлургіи. Электрометаллургическими процессами пользовался уже французскій физикъ А. Беккерель (1788—1878), а въ новѣйшія времена они находятъ примѣненіе особенно при добываніи и очисткѣ мѣди. Въ настоящее время находитъ важное примѣненіе также и электролизъ сухимъ путемъ, который впервые производилъ Дэви для

Рис. 282



Вѣсы для серебренія.

полученія калія и натрія. Производится онъ въ электрической печи. На рис. 283 представлена печь Геру, которая служитъ для добыванія алюминія. Она состоитъ изъ желѣзнаго ящика, наполненнаго углемъ. Отрицательный полюсъ источника тока (динамомашины) находится въ соединеніи съ ящикомъ, а положительный съ пучкомъ угольныхъ палочекъ, которыя можно опустить въ ящикъ болѣе или менѣе глубоко. Чтобы пустить печь въ дѣйствіе, расплавляютъ въ ней сначала немного мѣди. Затѣмъ прибавляютъ кріолитъ, легкоплавкій минералъ алюминія, а затѣмъ окись алюминія. Расплавленная окись разлагается электрическимъ токомъ такимъ образомъ, что металлъ собирается на днѣ печи, а кислородъ сжигаетъ угольныя палочки, образующія положительный полюсъ. Изъ химическихъ соединеній, получающихся въ электрической печи, слѣдуетъ назвать карбидъ кальція. Получаютъ его нагрѣваніемъ смѣси извести (окиси кальція) и угля. Уголь соединяется съ кислородомъ извести въ угольную кислоту и съ кальціемъ въ карбидъ кальція:

$$2\,CaO + 5\,C = CO_2 + 2\,CaC_2.$$

Когда карбидъ кальція приходитъ въ соприкосновеніе съ водою, то онъ разлагается съ образованіемъ гидрата окиси кальція и ацетилена:

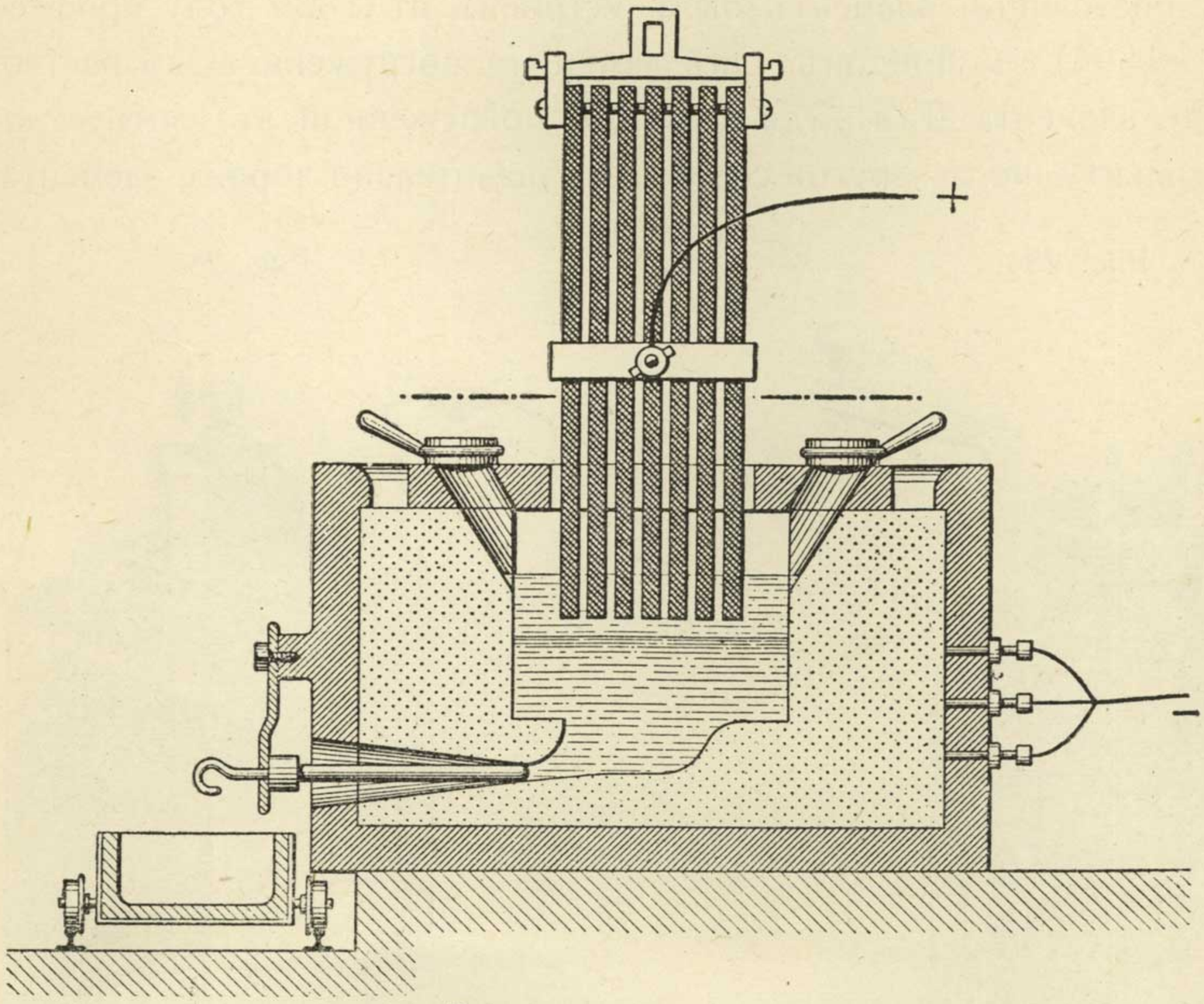
$$CaC_2 + 2\,H_2O = C_2H_2 + CaH_2O_2.$$

http://mathesis.ru

359. Какъ раньше было упомянуто (§ 319), токъ элемента Вольты (мѣдь и цинкъ, погруженные въ разбавленную сѣрную кислоту) не остается постояннымъ, но очень быстро уменьшается вслѣдствіе поляризаціи пластинокъ. Теперь легко понять, какимъ образомъ можетъ быть устраненъ этотъ недостатокъ.

Если оба полюса элемента соединить проволокой, то токъ проходитъ не только черезъ эту проволоку, но также и сквозь жидкость элемента, а именно отъ цинка къ мѣди. Вслѣдствіе этого въ элементѣ имѣетъ мѣсто электролизъ. Въ элементѣ

Рис. 283



Электрпческая печь.

Вольты разлагается вода. Водородъ выдѣляется на мѣди. Поэтому, когда токъ элемента работаетъ, пластинка мѣди покрывается слоемъ водорода. Мѣдная пластинка превращается нѣкоторымъ образомъ въ водородную пластинку. Но вслѣдствіе этого значительно уменьшается электродвижущая сила элемента. Кислородъ, который выдѣляется на цинковой пластинкѣ, не оказываетъ вреднаго вліянія, потому что онъ не выдѣляется въ свободномъ состояніи, а образуетъ соединеніе, окись цинка, которая растворяется въ прибавленной къ водѣ сѣрной кислотѣ.

Самымъ раннимъ постояннымъ элементомъ является элементъ Даніэлля (рис. 284). Онъ былъ составленъ Даніэллемъ (1790—1845), профессоромъ химіи въ King's College въ Лондонѣ, и состоитъ изъ мѣдной и цинковой пластинокъ, изъ которыхъ первая находится въ насыщенномъ растворѣ сульфата мѣди (мѣднаго купороса), вторая въ разбавленной сѣрной кислотѣ. На изображенномъ на рисункѣ элементѣ изогнутая цилиндрически мѣдная пластинка *K* помѣщается въ стеклянномъ сосудѣ, цинковая же пластинка *Z* въ пористомъ глиняномъ сосудѣ *T*. Чтобы вмѣстѣ съ тѣмъ на цинкъ не дѣйствовала разбавленная сѣрная кислота въ то время, когда черезъ элементъ не идетъ токъ, цинкъ покрывается ртутью (амальгамируется). Въ этомъ элементѣ происходитъ не разложеніе воды, какъ въ элементѣ Вольты, а разложеніе

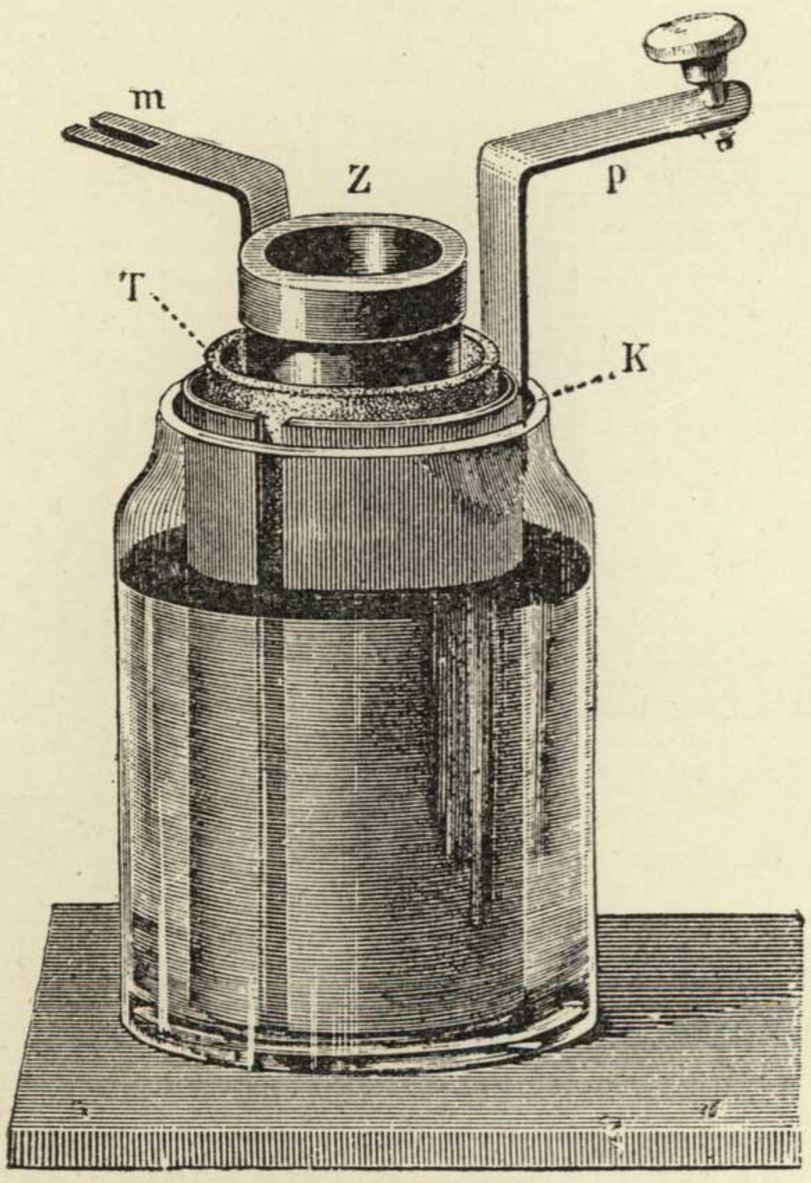
http://mathesis.ru

мѣди $CuSO_4$. Мѣдь выдѣляется на мѣдной пластинкѣ, а остатокъ сѣрной кислоты на цинкѣ, гдѣ онъ производитъ образованіе сульфата цинка.

Элементъ Даніэлля очень постояненъ. Амальгамированіе цинка производилось уже въ 1828 году В. Стёрджономъ. Даніэлль для раздѣленія обѣихъ жидкостей элемента первоначально пользовался животной кожей, но купецъ Гассіотъ въ Лондонѣ обратилъ его вниманіе на то, что Беккерель вмѣсто животной кожи пользовался пористыми глиняными цилиндрами. Позже эти послѣдніе вошли въ употребленіе для всѣхъ постоянныхъ элементовъ.

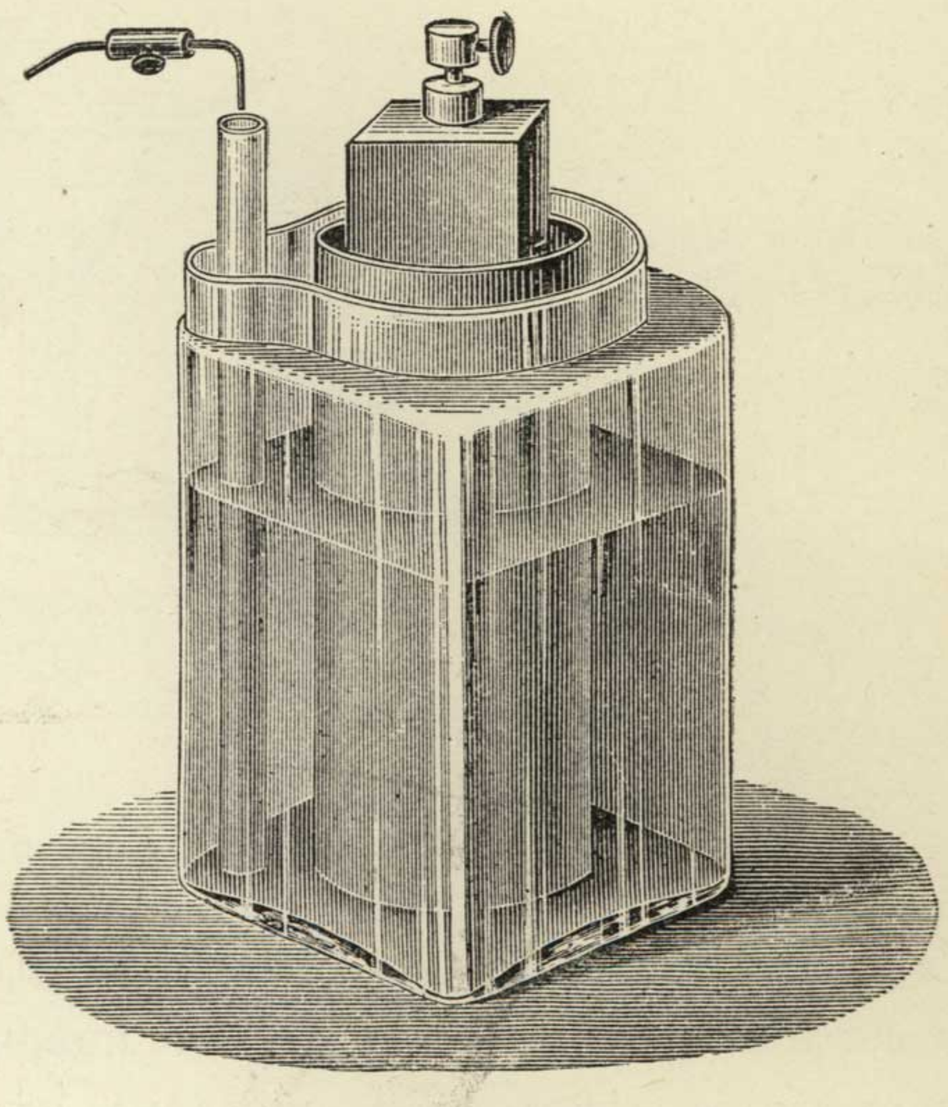
Второй постоянный элементъ былъ устроенъ въ 1839 году професоромъ Гровомъ (1811—1896) въ Лондонѣ. Онъ замѣнилъ погруженную въ растворъ мѣднаго купороса мѣдь элемента Даніэлля платиной, погруженной въ азотную кислоту. Элементъ этотъ сильнѣе, но съ другой стороны и значительно дороже элемента Даніэлля.

Рис. 284



Элементъ Даніэлля.

Рис. 285



Элементъ Лекланше.

Въ слѣдующемъ году Куперомъ и позже Бунзеномъ (I, § 442) было указано на то, что платина можетъ быть замѣнена ретортнымъ углемъ безъ замѣтнаго уменьшенія силы элемента. Этотъ, такъ называемый Бунзеновскій, элементъ состоитъ, слѣдовательно, изъ цинка въ разбавленной сѣрной кислотѣ и угля въ крѣпкой азотной кислотѣ. Когда элементъ въ дѣйствіи, то на цинкѣ выдѣляется кислородъ, а на углѣ водородъ. Первый производитъ такъ же, какъ и въ другихъ элементахъ, образованіе сульфата цинка, второй же азотной кислотой окисляется въ воду. Изъ другихъ многочисленныхъ элементовъ, устроенныхъ съ теченіемъ времени, слѣдуетъ упомянуть только еще объ очень употребительномъ въ телеграфіи элементѣ Лекланше (рис. 285). Состоитъ онъ изъ цинковой палочки, погруженной въ насыщенный растворъ нашатыря (NH_4Cl), и изъ угольной палочки, окруженной не жидкостью, а измельченнымъ пиролюзитомъ (MnO_2). Когда элементъ въ дѣйствіи, на цинкѣ выдѣляется хлоръ, что имѣетъ слѣдствіемъ образованіе хлористаго цинка. Группа

http://maihesis.ru

NH_4 распадается на NH_3, амміакъ, и H, водородъ. Первый выдѣляется въ воздухъ, второй пиролюзитомъ окисляется въ воду. Элементъ Лекланше не очень силенъ, но онъ имѣетъ то преимущество, что долго сохраняется неизмѣннымъ. Въ послѣднее время стали часто употреблять такъ называемые сухіе элементы, въ которыхъ жидкостью пропитываются надлежащія „массы“, напримѣръ, гипсъ, мѣлъ, глина и т. п., въ которыя уже вставляется цинкъ и уголь.

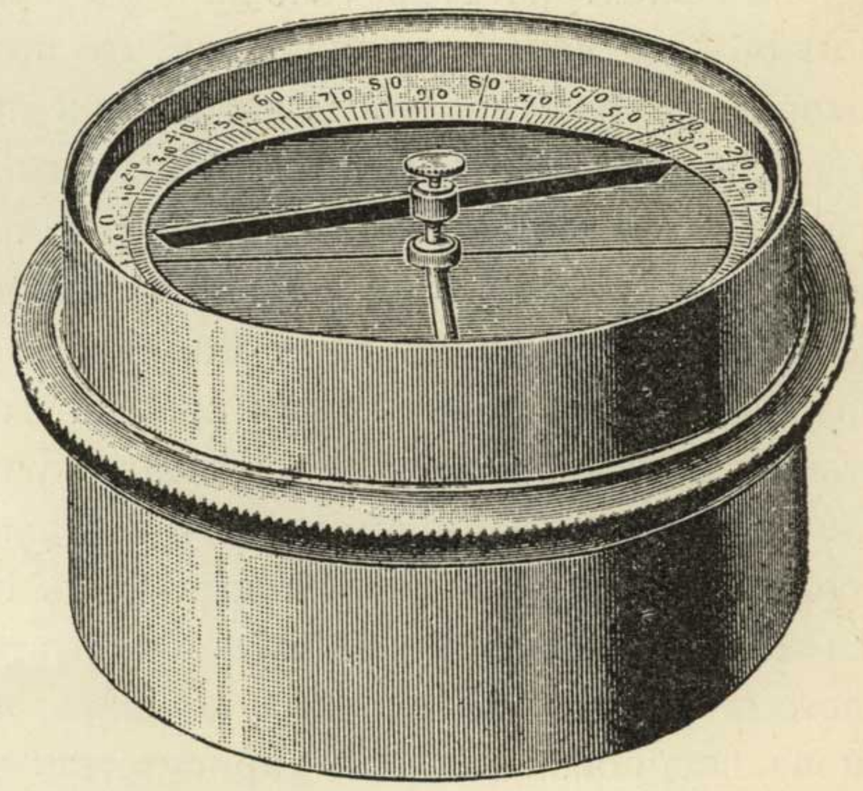
Читатель въ этой главѣ не найдетъ опредѣленія силы элемента. Объ этомъ будетъ изложено въ слѣдующей главѣ, въ которой также будутъ упомянуты и вторичные элементы или аккумуляторы.

Электромагнитизмъ

360. „Вся природа едина, несмотря на все многообразіе; однѣ и тѣ же силы дѣйствуютъ повсюду какъ въ живой, такъ и въ мертвой природѣ; различія суть не что иное, какъ разныя ступени развитія“. Вотъ въ немногихъ словахъ ядро натурфилософіи Шеллинга, имѣвшей въ началѣ XIX столѣтія огромное вліяніе на образованное общество въ Германіи и въ сѣверныхъ государствахъ.

Шеллингъ былъ исключительно философъ и къ своему міровоззрѣнію онъ пришелъ чисто философскимъ путемъ. Въ началѣ XX столѣтія должно быть отмѣчено, какъ удачно были схвачены основныя мысли его натурфилософіи. Ученіе о единствѣ въ видимомъ многообразіи силъ природы, подкрѣпленное опытомъ и наблюденіемъ, является теперь путеводителемъ въ физическихъ изслѣдованіяхъ; и въ изученіи живой природы теорія развитія также сдѣлалась плодотворной научной гипотезой.

Рис. 286



Магнитная стрѣлка, помощью которой Эрстедъ открылъ электромагнитизмъ.

Натурфилософія Шеллинга должна была вызвать у физиковъ стремленіе доказать путемъ опытовъ связь между силами природы. Тѣ, которые занимались натурфилософіей, въ области физики были лишь диллетантами. Поэтому ихъ утвержденія во многихъ случаяхъ оказывались недопустимыми; и если часто встрѣчалось отрицательное отношеніе къ натурфилософіи, то нерѣдко это происходило вполнѣ основательно. Тѣмъ не менѣе, натурфилософія подготовила почву, которая позволила наново взяться за изслѣдованіе и добиться выясненія единства и постепеннаго развитія въ природѣ.

Едвали что-либо другое оказало бо̀льшее вліяніе на стремленія найти единство въ природѣ, чѣмъ открытіе зависимости между электричествомъ и магнитизмомъ. Натурфилософы давно предсказывали, что такая зависимость будетъ найдена. Тѣмъ не менѣе, когда открытіе было сдѣлано на самомъ дѣлѣ (въ 1820 году), оно произвело впечатлѣніе чего-то совершенно новаго, такъ какъ никто не ожидалъ, что зависимость будетъ такою именно, какою она оказалась въ самомъ дѣлѣ.—Гансъ Христіанъ Эрстедъ находился подъ вліяніемъ натурфилософіи, но ему съ юношескихъ лѣтъ

http://matnesis.ru

было ясно, что въ изслѣдованіи природы рѣшающее значеніе принадлежитъ опыту и наблюденію, а не умозрѣнію. Еще въ 1812 году онъ высказалъ убѣжденіе, что электричество и магнитизмъ родственны другъ другу, и къ этой мысли онъ постоянно возвращался и въ слѣдующіе годы, когда готовилъ свои лекціи по электричеству. Его догадки могли опираться на извѣстный фактъ, что молнія вліяетъ на магнитную стрѣлку. При ударѣ молніи магнитныя стрѣлки иногда становятся неспокойными, а иногда даже перемагничиваются.

361. 21 іюля 1820 года Эрстедъ разослалъ циркуляръ на латинскомъ языкѣ о своемъ открытіи. Въ виду того, что этотъ актъ представляетъ исходную точку новаго періода изслѣдованія природы — именно того періода, когда окончательно было завоевано доказательство единства силъ природы, — умѣстно будетъ привести здѣсь этотъ циркуляръ полностью, именно въ переводѣ (нѣмецкомъ) Гильберта, который былъ опубликованъ въ 66-мъ томѣ анналовъ Гильберта.

Опыты надъ дѣйствіемъ электрическаго конфликта на магнитную стрѣлку.

Г. Хр. Эрстеда, профессора физики въ Копенгагенѣ.

Первые опыты, касающіеся того, что я намѣренъ выяснить, были сдѣланы во время лекцій объ электричествѣ, гальванизмѣ и магнитизмѣ, читанныхъ мною минувшей зимой. Изъ этихъ опытовъ явствовало, повидимому, что подъ дѣйствіемъ гальваническаго прибора магнитная стрѣлка выводится изъ своего положенія и при томъ при замкнутой гальванической цѣпи, а не при незамкнутой; (послѣднее напрасно пытались произвести нѣсколько лѣтъ тому назадъ нѣкоторые извѣстные физики). Но такъ какъ эти опыты производились съ несильнымъ приборомъ, вслѣдствіе чего полученныя явленія были недостаточны для столь важнаго вопроса, то я взялъ себѣ въ помощники своего друга, юстицрата Эсмарха, чтобы еще разъ продѣлать опыты при помощи большого устроеннаго нами сообща гальваническаго прибора. При нашихъ опытахъ присутствовалъ также начальникъ мѣстнаго управленія Влейгель въ качествѣ участника и свидѣтеля. Сверхъ того свидѣтелями ихъ были давно пользующійся извѣстностью превосходнаго физика обергофмаршалъ Гаухъ, профессоръ естественной исторіи Рейнгардъ, профессоръ медицины Якобсонъ, прекрасный экспериментаторъ и знатокъ химіи, докторъ философіи Цейзе. Очень часто я экспериментировалъ и одинъ, но всякій разъ, когда я замѣчалъ новыя явленія, я ихъ снова воспроизводилъ въ присутствіи этихъ ученыхъ.

Въ разсказѣ о нашихъ опытахъ я опущу тѣ изъ нихъ, которые, хотя и привели къ открытію, однако, ничего не могутъ внести для бо́льшаго выясненія предмета послѣ того, какъ открытіе уже сдѣлано, и ограничусь лишь тѣми изъ нихъ, которые ярко обрисовываютъ сущность предмета.

Гальваническій приборъ, которымъ мы пользовались, состоитъ изъ 20 прямоугольныхъ мѣдныхъ сосудовъ, каждый длиною въ 12 дюймовъ, вышиною въ 12 дюймовъ и шириною въ $2^1/_2$ дюйма. Каждый сосудъ снабженъ двумя мѣдными полосками, расположенными такимъ образомъ, что на нихъ покоится мѣдная палочка, поддерживающая погруженную въ жидкость цинковую пластинку сосѣдняго сосуда. Вода, которой наполнялись сосуды, была на $^1/_{60}$ часть своего вѣса разбавлена сѣрной кислотой и такимъ же количествомъ азотной кислоты; погруженная въ каждый сосудъ часть цинковой пластинки представляла квадратъ со стороною въ 10 дюймовъ. Однако, можно пользоваться и меньшими приборами, лишь бы они были въ состояніи накалить проволоку.

Представимъ себѣ, что два противоположныхъ конца гальваническаго прибора соединены при помощи металлической проволоки. Послѣднюю я буду постоянно называть для краткости

http://mathesis.ru

соединительнымъ проводомъ или соединительной проволокой; процессъ же, который происходитъ въ этой проволокѣ и вблизи нея, я буду называть электрическимъ конфликтомъ.

1. Прямолинейную часть этой соединительной проволоки располагаютъ горизонтально надъ обыкновенной свободно движущейся магнитной стрѣлкой; проволоку для этой цѣли можно какъ угодно гнуть безъ ущерба. Когда все это налажено, магнитная стрѣлка приходитъ въ движеніе и при томъ такъ, что подъ той частью соединительной проволоки, которая идетъ отъ отрицательнаго конца гальваническаго прибора, стрѣлка отклоняется къ западу. Если разстояніе проволоки отъ магнитной стрѣлки не превышаетъ $^5/_4$ дюйма, то это отклоненіе составляетъ около 45°. При бо̀льшемъ разстояніи отклоненіе уменьшается въ такой же мѣрѣ, въ какой увеличивается разстояніе. Сверхъ того отклоненіе мѣняется съ измѣненіемъ силы прибора.

Соединительную проволоку можно повернуть къ востоку или къ западу, и если только она остается параллельною стрѣлкѣ, — то это не окажетъ никакого иного вліянія на результатъ, какъ только то, что отклоненіе уменьшится. Вышесказанное дѣйствіе, слѣдовательно, никоимъ образомъ не можетъ быть приписано силѣ притяженія, такъ какъ тотъ же самый полюсъ стрѣлки, который поворачивался къ соединительной проволокѣ, когда послѣдняя находилась на востокѣ отъ стрѣлки, поворачивается въ обратную сторону отъ нея, когда проволока находится къ западу отъ стрѣлки, что было бы невозможно, еслибъ эти отклоненія обусловливались притяженіемъ и отталкиваніемъ.

2. Соединительный проводъ можетъ состоять изъ нѣсколькихъ соединенныхъ проволокъ или металлическихъ полосъ. Природа металла не мѣняетъ результата, развѣ только, пожалуй, въ отношеніи величины. Съ одинаковымъ результатомъ мы пользовались проволоками изъ платины, золота, серебра, латуни и желѣза, а также оловянными и свинцовыми полосами и ртутью. Если прервать проводникъ водою, то дѣйствіе прекращается не совсѣмъ, если, конечно, вода занимаетъ длину лишь въ нѣсколько дюймовъ.

3. Соединительная проволока дѣйствуетъ на магнитную стрѣлку сквозь стекло, металлы, дерево, воду, смолу, сквозь глиняные сосуды и сквозь камень, такъ какъ, когда мы помѣщали между ними стеклянную или металлическую пластинку или деревянную доску, то результатъ не исчезалъ; даже въ томъ случаѣ, когда между ними помѣщалось все это одновременно, результатъ едва ослаблялся. Такъ же мало мѣнялся результатъ при помѣщеніи электрофора, доски изъ порфира и глиняной посуды, даже и наполненной водой. Наши опыты обнаружили, что указанное дѣйствіе не мѣняется и въ томъ случаѣ, если брать магнитную стрѣлку, помѣщенную въ латунную коробку, наполненную водой. Что при электричествѣ и магнитизмѣ до сихъ поръ не наблюдалось дѣйствіе черезъ всѣ указанныя вещества, объ этомъ едвали нужно говорить. Слѣдовательно, дѣйствія, которыя имѣютъ мѣсто при электрическомъ конфликтѣ, совершенно отличны отъ дѣйствій той или другой электрической силы.

4. Если соединительная проволока находится въ горизонтальной плоскости подъ магнитной стрѣлкой, то всѣ перечисленныя дѣйствія происходятъ въ направленіи, противоположномъ тому направленію, какое имѣло мѣсто, когда она находилась въ горизонтальной плоскости надъ стрѣлкой; но въ остальномъ эти дѣйствія происходятъ совершенно одинаково. На востокъ отклоняется теперь тотъ полюсъ магнитной стрѣлки, подъ которымъ находится часть соединительной проволоки, куда прежде всего вступаетъ электричество отрицательнаго конца гальваническаго прибора.

Чтобы легче удержать это въ памяти, можно пользоваться слѣдующей формулой: полюсъ, надъ которымъ вступаетъ отрицательное электричество, поворачивается на западъ, полюсъ подъ которымъ оно вступаетъ, поворачивается на востокъ.

5. Если поворачивать соединительную проволоку въ горизонтальной плоскости такимъ образомъ, чтобы она составляла все бо̀льшій и бо̀льшій уголъ съ магнитнымъ меридіаномъ, то отклоненіе стрѣлки будетъ увеличиваться, если вращеніе проволоки будетъ происходить въ направленіи положенія отклоненной стрѣлки; оно, напротивъ, будетъ уменьшаться, если вращеніе будетъ происходить въ обратномъ направленіи.

6. Соединительная проволока, находящаяся въ горизонтальной плоскости, въ которой движется уравновѣшенная магнитная стрѣлка, и параллельная стрѣлкѣ, не отклоняетъ ея ни на востокъ, ни на западъ, а заставляетъ ее колебаться въ плоскости наклоненій такимъ образомъ

http://maltesis.ru

что полюсъ, вблизи котораго въ проволоку вступаетъ отрицательное электричество, опускается внизъ, если проволока находится съ западной стороны стрѣлки, и наоборотъ, поднимается вверхъ, если проволока находится съ восточной стороны стрѣлки.

7. Если помѣстить соединительную проволоку надъ стрѣлкой или подъ нею перпендикулярно къ плоскости магнитнаго меридіана, то стрѣлка остается въ покоѣ, за исключеніемъ того случая, когда проволока находится близко къ полюсу. Но въ этомъ случаѣ полюсъ поднимается, если начало тока находится съ западной стороны проволоки, и опускается, если оно находится съ восточной стороны.

8. Если соединительная проволока помѣщена отвѣсно противъ одного изъ полюсовъ магнитной стрѣлки и близко къ нему и если верхній конецъ проволоки получаетъ электричество отъ отрицательнаго конца гальваническаго прибора, то этотъ полюсъ поворачивается къ востоку; если же, напротивъ, проволока находится вблизи такой точки стрѣлки, которая лежитъ между полюсомъ и серединой стрѣлки, то эта точка отклоняется на западъ. Если верхній конецъ проволоки получаетъ электричество отъ положительнаго конца прибора, то явленія происходятъ въ обратномъ порядкѣ.

9. Если согнуть соединительную проволоку такимъ образомъ, чтобы она образовала у сгиба двѣ параллельныя части или двѣ параллельныя стороны, то магнитные полюсы притягиваются или отталкиваются ею въ зависимости отъ обстоятельствъ. Проволоку помѣщаютъ противъ одного изъ полюсовъ стрѣлки такимъ образомъ, чтобы плоскость параллельныхъ сторонъ была перпендикулярна къ магнитному меридіану, и восточную сторону соединяютъ съ отрицательнымъ концомъ гальваническаго прибора, а западную съ положительнымъ концомъ. Въ этомъ положеніи ближайшій полюсъ отталкивается либо на востокъ, либо на западъ, въ зависимости отъ положенія плоскости сторонъ. Если восточная сторона соединена съ положительнымъ концомъ прибора, а западная съ отрицательнымъ, то ближайшій полюсъ притягивается. Если помѣстить плоскость вѣтвей перпендикулярно у точки между полюсомъ и серединой стрѣлки, то произойдутъ тѣ же явленія, но въ обратномъ порядкѣ.

10. Латунная стрѣлка, подвѣшенная подобно магнитной стрѣлкѣ, не приходитъ въ движеніе отъ дѣйствія соединительной проволоки. Равнымъ образомъ остается въ покоѣ при такихъ опытахъ и стрѣлка изъ стекла или каучука.

Все изложенное позволяетъ отмѣтить нѣкоторые важные пункты для объясненія этихъ явленій. Электрическій конфликтъ обладаетъ способностью дѣйствовать только на магнитныя вещества. Всѣ немагнитныя тѣла, повидимому, пропускаютъ сквозь себя электрическій конфликтъ; напротивъ, магнитныя тѣла или, вѣрнѣе, ихъ магнитныя частицы оказываютъ сопротивленіе прохожденію этого конфликта, въ силу чего они, отъ столкновенія борющихся силъ, могутъ приходить въ движеніе.

Что электрическій конфликтъ не ограниченъ только проводящей проволокой, но, какъ сказано, распространяется еще въ окружающемъ пространствѣ довольно далеко, достаточно видно изъ вышеизложенныхъ наблюденій.

Изъ сдѣланныхъ наблюденій можно также заключить, что этотъ конфликтъ распространяется по кругамъ; ибо безъ этого допущенія трудно понять, какимъ образомъ одна и та же часть соединительной проволоки, находясь подъ полюсомъ магнитной стрѣлки, заставляетъ стрѣлку поворачиваться къ востоку, находясь же надъ полюсомъ, отклоняетъ стрѣлку къ западу, круговое же движеніе происходитъ на противоположныхъ концахъ діаметра въ противоположныхъ направленіяхъ. Нужно сверхъ того думать, что круговое движеніе, въ связи съ поступательнымъ движеніемъ вдоль по проводнику, должно давать улиткообразную линію или спираль; это, однако, если я не ошибаюсь, ничего не прибавляетъ къ объясненію до сихъ поръ наблюденныхъ явленій.

Всѣ изложенныя здѣсь дѣйствія на сѣверный полюсъ стрѣлки могутъ быть легко понятны, если допустить, что отрицательная электрическая сила или вещество пробѣгаетъ спираль, завитую вправо, и отталкиваетъ сѣверный полюсъ, но не дѣйствуетъ на южный; такимъ же образомъ можно объяснить всѣ дѣйствія на южный полюсъ, если приписать положительной электрической силѣ или матеріи движеніе въ обратномъ направленіи и способность оказывать дѣйствіе на южный, но не на сѣверный полюсъ стрѣлки. Въ совпаденіи этого закона съ природой можно лучше убѣдиться путемъ воспроизведенія опытовъ, чѣмъ при помощи длинныхъ объ-

http://mathesis.sl

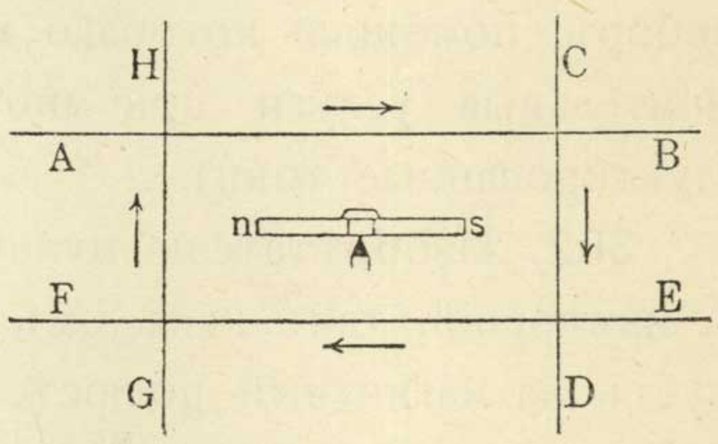
ясненій. Однако, разобраться въ опытахъ легче всего при помощи фигуръ, указывающихъ путь, по которому идутъ электрическія силы въ соединительной проволокѣ.

Къ сказанному я добавлю еще, что въ одномъ сочиненіи, вышедшемъ много лѣтъ тому назадъ, я показалъ, что теплота и свѣтъ суть электрическіе конфликты. Изъ вновь полученныхъ наблюденій можно заключить, что и въ этихъ явленіяхъ имѣетъ мѣсто движеніе по кругамъ; такое заключеніе, по моему мнѣнію, дастъ возможность объяснить тѣ факты, которые называютъ поляризаціей свѣта.

Писано въ Копенгагенѣ 21 іюля 1820 года.

Этимъ Эрстедъ выяснилъ вліяніе электрическаго конфликта или, какъ говоримъ мы, электрическаго тока на магнитную стрѣлку. Пользуясь рисункомъ 287, легко обобщить результаты опытовъ Эрстеда. Магнитная стрѣлка *ns* можетъ вращаться въ горизонтальной плоскости. Когда токъ имѣетъ направленіе, указанное стрѣлками, то отдѣльныя части проводника обусловливаютъ вращеніе стрѣлки въ одномъ и томъ же направленіи. Гольтенъ, ученикъ Эрстеда, и его преемникъ въ качествѣ профессора физики въ Копенгагенскомъ университетѣ, далъ слѣдующее правило для отклоненій стрѣлки: если держать правую руку по направленію тока и притомъ такимъ образомъ, чтобы ладонь была обращена къ сѣверному полюсу стрѣлки, то послѣдняя отклоняется въ сторону большого пальца. Согласно правилу Ампера слѣдуетъ вообразить себѣ человѣческую фигуру, плывущую по направленію тока и смотрящую на стрѣлку. Для „пловца“ въ этомъ положеніи стрѣлка будетъ отклоняться влѣво.

Рис. 287



Опыты Эрстеда.

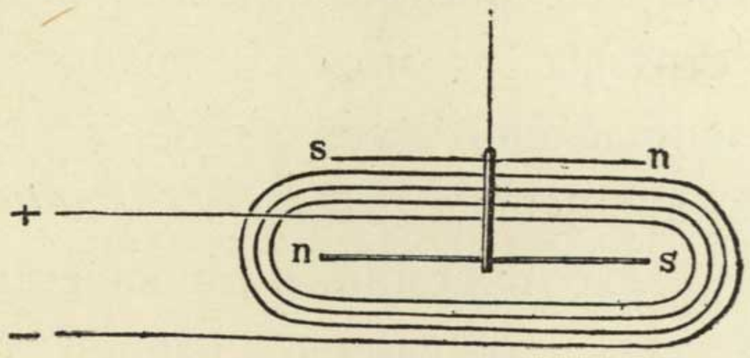
Теперь всюду стали пробовать воспроизвести опыты Эрстеда. При этомъ затрудненіе состояло въ томъ, что, по Эрстеду, токъ долженъ быть настолько силенъ, чтобы накаливать проволоку. Профессоръ Мунке въ Гейдельбергѣ полагалъ, что для полученія этихъ явленій необходимъ Вольтовъ столбъ въ 106 паръ; на дѣлѣ онъ, однако, нашелъ, что для этого достаточно и одной пары. Профессоръ Деларивъ въ Женевѣ произвелъ этотъ опытъ въ присутствіи болѣе значительнаго числа естествоиспытателей и съ этихъ поръ производство наблюденій надъ электромагнитизмомъ пошло успѣшнѣе.

Въ сентябрѣ того же года Швейггеръ (1779—1857) представилъ Обществу естествоиспытателей въ Галле приборъ, помощью котораго можно было обнаруживать очень слабые токи. Издатель знаменитыхъ „Annalen der Physik und Chemie“, Поггендорффъ (1796—1877), самостоятельно построилъ такой же самый приборъ и въ главныхъ чертахъ придалъ ему ту форму, которая находится во всеобщемъ употребленіи и въ настоящее время. Существенное улучшеніе въ приборъ внесъ въ 1825 году Нобили, который замѣнилъ простую стрѣлку такъ называемой астатической двойной стрѣлкой. Двѣ магнитныя стрѣлки *ns* и *sn* (рис. 288) укрѣплены на общей оси (изъ латуни) такимъ образомъ, что параллельны, но направлены одинаковыми полюсами въ разныя стороны. Еслибы обѣ стрѣлки были совершенно одинаковой силы, то земной магнитизмъ не производилъ бы на двойную стрѣлку никакого вращательнаго дѣйствія. Но если, напротивъ, одна стрѣлка сильнѣе другой, то двойная стрѣлка устанавливается въ магнитномъ меридіанѣ. Двойная стрѣлка подвѣшивается на шелковинкѣ такъ, что одна изъ стрѣлокъ находится внѣ проволочной

http://mathesis.ru

обмотки, а другая внутри ея. Когда по проволокѣ проходитъ токъ, то онъ отклоняетъ обѣ стрѣлки одинаковымъ образомъ. Правда, верхнія части обмотки дѣйствуютъ на верхнюю стрѣлку въ направленіи противоположномъ въ сравненіи съ нижними частями обмотки. Эти два дѣйствія, однако, не уничтожаютъ другъ друга, такъ какъ первое (вслѣдствіе незначительности разстоянія стрѣлки отъ проволокъ) гораздо сильнѣе, чѣмъ второе. Отклоняющее дѣйствіе тока въ приборѣ Швейггера и Поггендорффа значительно усиливается тѣмъ, что проволока окружаетъ стрѣлку не одинъ, а много разъ. Проволока, намотанная на деревянную катушку, обвита (изолирована) шелкомъ такъ, что электрическій токъ не можетъ непосредственно перейти изъ одного оборота обмотки въ другой, но долженъ пробѣжать всѣ обороты слоя по порядку. Такимъ образомъ, токъ дѣйствуетъ на стрѣлку отклоняющимъ образомъ въ каждомъ отдѣльномъ оборотѣ проволоки. Благодаря этому многократному повторенію дѣйствія, приборъ былъ названъ мультипликаторомъ. Изображеніе его можно найти на рис. 127 (стр. 123). Приборъ, помощью котораго можно обнаружить весьма слабые токи, оказалъ очень значительныя услуги при многихъ важныхъ открытіяхъ (термоэлектрическіе токи, индуктированные токи).

Рис. 288.



Астатическая стрѣлка.

362. Изобрѣтатели мультипликатора не умѣли пользоваться этимъ приборомъ для измѣреній, такъ какъ имъ былъ неизвѣстенъ законъ, по которому токъ дѣйствуетъ на магнитный полюсъ. Французскіе физики Біо и Саваръ осенью 1820 года изслѣдовали это дѣйствіе и нашли, что въ каждой части проводящей проволоки токъ дѣйствуетъ на магнитный полюсъ съ силой, обратно пропорціональной квадрату разстоянія отъ магнитнаго полюса. Силѣ же тока магнитное дѣйствіе прямо пропорціонально.

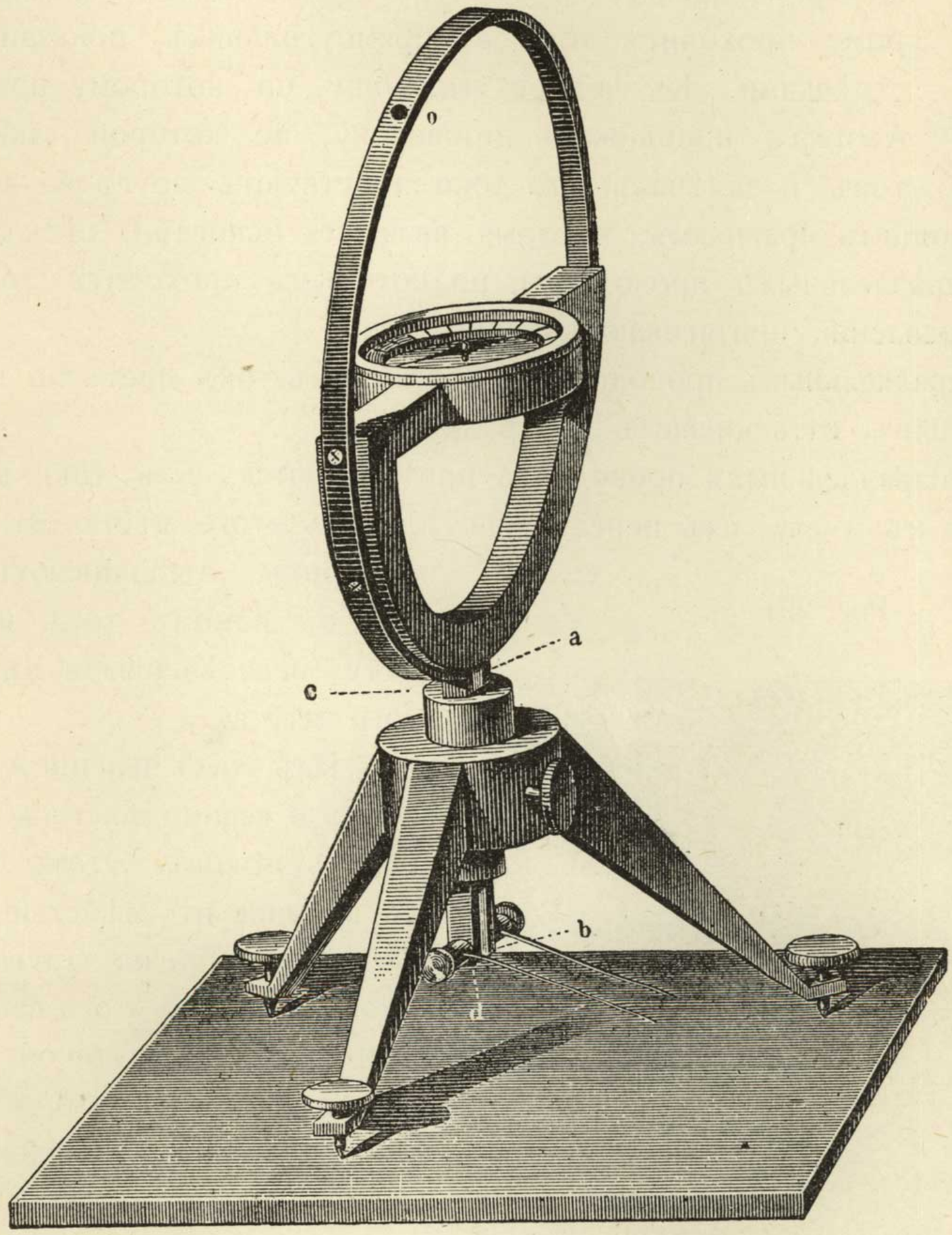
Для измѣренія силы тока служитъ изобрѣтенный Пулье и усовершенствованный Веберомъ тангенсъ-гальванометръ. Въ существенномъ онъ состоитъ изъ мѣднаго кольца, которое можно включать въ цѣпь, по коей проходитъ измѣряемый токъ, и изъ стрѣлки склоненія, находящейся въ серединѣ мѣднаго кольца (рис. 289). Круговыя дѣленія на гальванометрѣ нанесены такимъ образомъ, что нуль приходится въ плоскости кольца. Когда желаютъ пользоваться приборомъ, его устанавливаютъ такъ, чтобы стрѣлка указывала на нулевое дѣленіе, т. е. чтобы кольцо находилось въ магнитномъ меридіанѣ. Чѣмъ сильнѣе токъ, тѣмъ сильнѣе отклоняется стрѣлка, причемъ сила тока пропорціональна тангенсу угла отклоненія. Читатель, знакомый съ основами тригонометріи, легко убѣдится въ этомъ, если вспомнитъ, что стрѣлка принимаетъ направленіе равнодѣйствующей двухъ силъ, изъ которыхъ одна (сила земного магнитизма) дѣйствуетъ въ направленіи магнитнаго меридіана, а другая (отклоняющая сила тока) въ направленіи, перпендикулярномъ къ первому.

363. Въ ноябрѣ 1820 года Араго (I, § 286) сообщилъ объ очень важномъ наблюденіи. Онъ обмоталъ мѣдной проволокой стеклянную трубку, въ которую вставилъ стальной стержень. Когда онъ затѣмъ пропускалъ по мѣдной проволокѣ электрическій токъ, стальной стержень намагничивался. Проволоку, по которой проходитъ токъ, онъ поэтому разсматривалъ, какъ магнитъ, показавъ, что такая

http://mathesis.ru

проволока, изъ какого бы металла она ни была сдѣлана, притягиваетъ желѣзныя опилки. Что вблизи электрическаго тока возникаетъ магнитное поле, можетъ быть обнаружено тѣмъ, что проволоку, по которой проходитъ токъ, пропускаютъ въ вертикальномъ направленіи сквозь листъ бумаги, посыпанной желѣзными опилками (рис. 290 и 291). Подъ вліяніемъ электрическаго тока опилки располагаются по окружностямъ вокругъ проволоки. Всѣ частички желѣза становятся маленькими магнитами, которые располагаются такимъ образомъ, что сѣверные полюсы обра-

Рис. 289



Тангенсъ-гальванометръ.

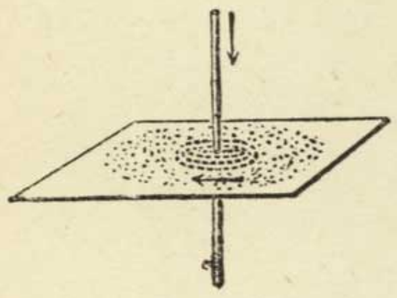
щены въ сторону, указываемую стрѣлками. Окружности, возникшія такимъ путемъ указываютъ направленіе силовыхъ линій магнитнаго поля.

364. Дальнѣйшее объясненіе зависимости между магнитизмомъ и электричествомъ принадлежитъ Андре Маріи Амперу (род. въ 1775 году въ Ліонѣ, съ 1824 года профессоръ физики въ Collège de France, ум. въ 1836 году въ Марсели). Когда стало извѣстно объ открытіи Эрстеда, Амперъ тотчасъ предпринялъ обстоятельное изслѣдованіе новыхъ явленій и сейчасъ же сдѣлалъ важное открытіе, что

http://mathesis.ru

электрическіе токи производятъ другъ на друга механическое дѣйствіе. На рис. 292 изображенъ такъ называемый станокъ Ампера, служащій для наблюденія этихъ дѣйствій. Токъ входитъ въ мѣстѣ, указанномъ знакомъ +, и выходитъ въ мѣстѣ, указанномъ знакомъ —. Въ y онъ переходитъ изъ неподвижнаго проводника v въ подвижный прямоугольникъ $abcd$, а въ x онъ переходитъ изъ прямоугольника въ неподвижный проводникъ t. Концы согнутой въ прямоугольникъ проволоки снабжены остріями, которыя погружаются въ чашечки со ртутью. Благодаря этому, подвижный четырехугольникъ соединенъ съ неподвижными проводниками v и t, не встрѣчая въ то же время препятствій для своего движенія. Направленіе, по которому проходитъ токъ въ прямоугольникѣ, показано на рисункѣ стрѣлками. Къ четырехугольнику, по которому проходилъ токъ, Амперъ приближалъ проволоку, по которой также проходилъ токъ, и замѣчалъ, что токи дѣйствуютъ другъ на друга, притомъ согласно слѣдующимъ правиламъ, которыя являются основами электродинамики:

Рис. 290



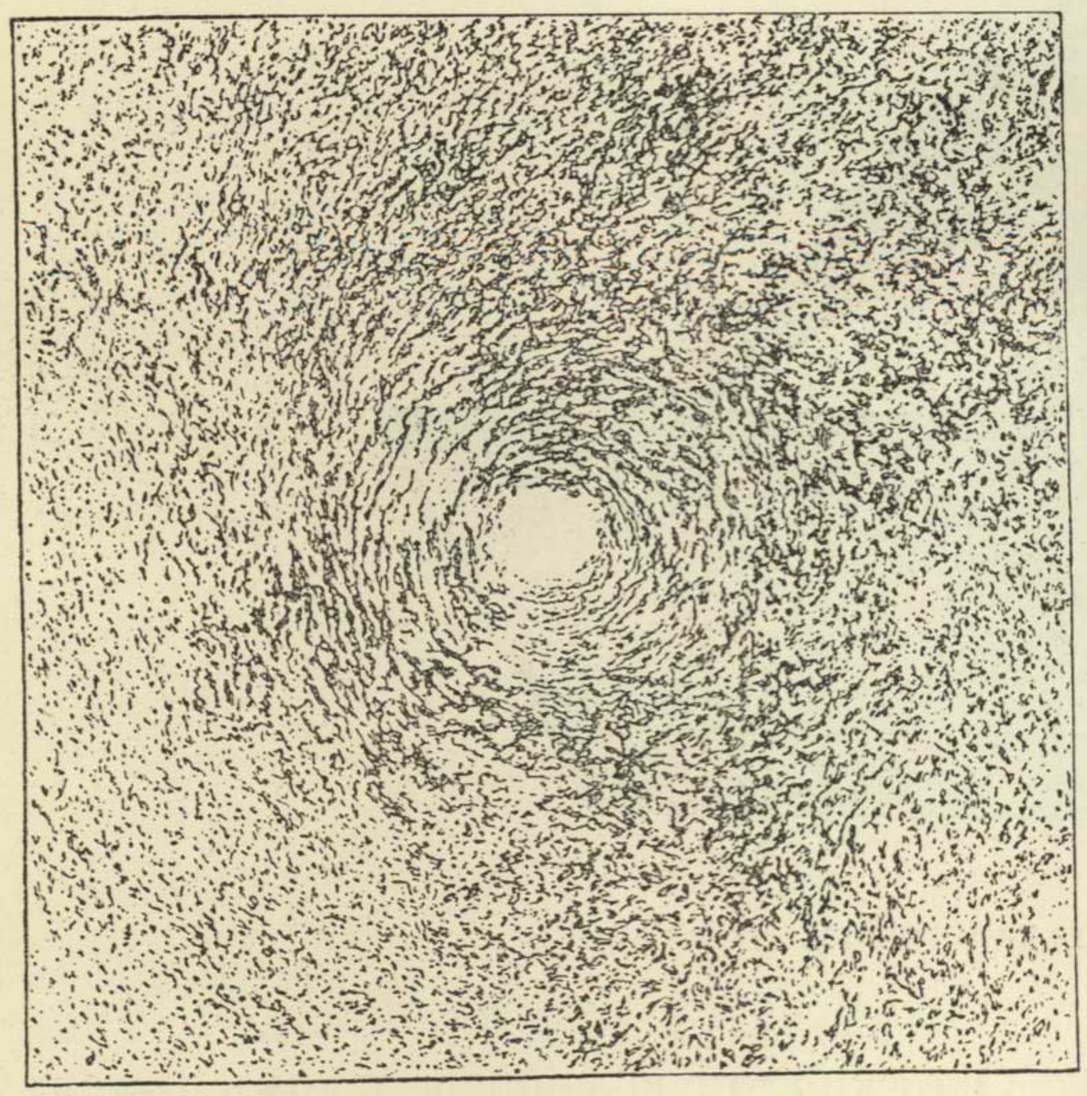
Магнитное поле вокругъ проводника.

a) Два параллельныхъ проводника, по которымъ проходитъ токъ въ одномъ и томъ же направленіи, притягиваютъ другъ друга.

b) Два параллельныхъ проводника, въ которыхъ токъ идетъ по противоположнымъ направленіямъ, отталкиваютъ другъ друга.

c) Два непараллельныхъ проводника притягиваются, если токи въ нихъ идутъ по направленію къ мѣсту ихъ пересѣченія или отъ этого мѣста. Эти проводники, наоборотъ, отталкиваютъ другъ друга, если въ одномъ токъ направленъ къ мѣсту пересѣченія, а въ другомъ отъ этого мѣста.

Рис. 291



Силовыя линіи магнитнаго поля.

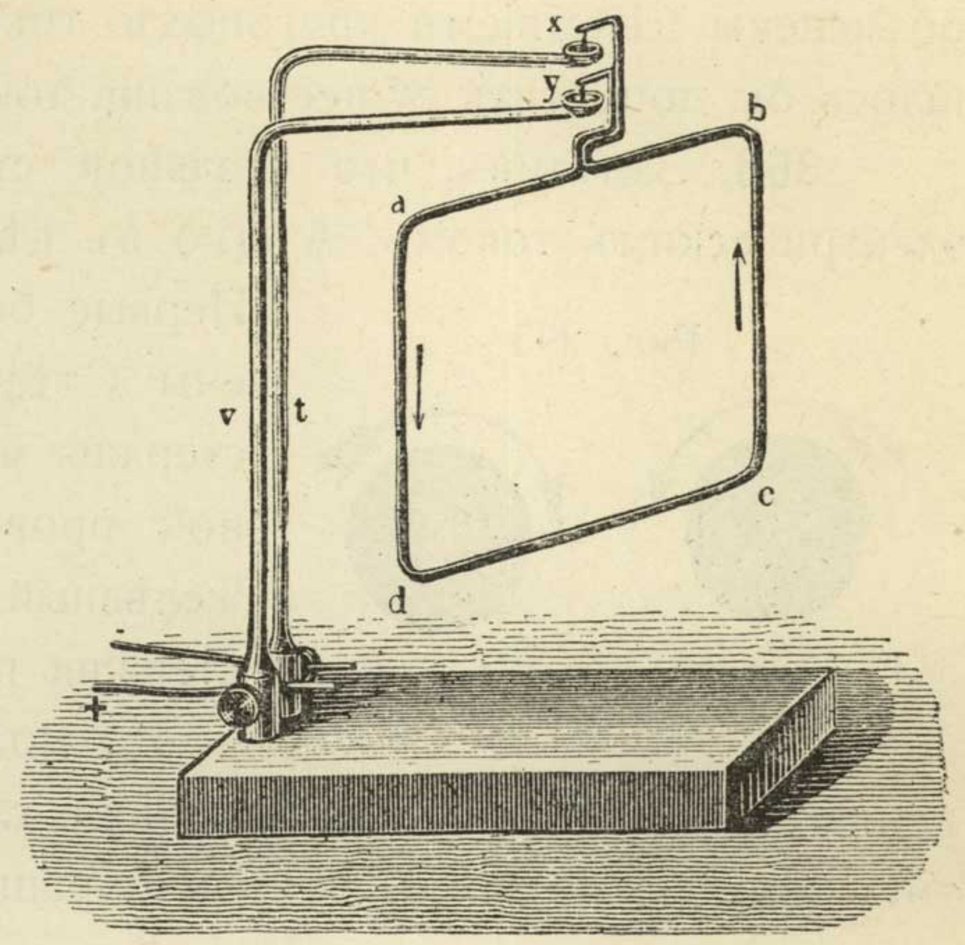
Изъ этихъ явленій Амперъ вывелъ законъ о взаимодѣйствіи двухъ электрическихъ токовъ. Этотъ законъ позволяетъ вычислить дѣйствіе, которое оказываютъ другъ на друга два любыхъ тока. Разработка этого важнаго предмета Ампером была такой основательной и исчерпывающей, что съ тѣхъ поръ въ ней не пришлось прибавить ничего существеннаго. Его превосходная работа была по справедливости поставлена наряду съ работой Ньютона о всеобщемъ притяженіи.

На подвижный проводникъ оказываетъ, конечно, вліяніе и магнитъ. Если ввести магнитъ въ подвижный проводникъ, то начнетъ вращаться либо магнитъ, либо проводникъ, смотря по тому, что изъ нихъ подвижно и что удерживается неподвижно; вращеніе будетъ происходить до тѣхъ поръ, пока плоскость проводника не станетъ перпендикулярной къ оси

магнита и притомъ такъ, что „пловецъ“ Ампера будетъ имѣть сѣверный полюсъ магнита съ лѣвой стороны.

Далѣе Амперъ пропускалъ токъ по спиральной проволокѣ, по такъ называемому соленоиду (рис. 293). Послѣдній становился какъ бы магнитомъ съ сѣвернымъ и южнымъ полюсами и устанавливался въ направленіи магнитнаго меридіана. Дѣйствительно, если земля есть большой магнитъ, ось котораго имѣетъ то же направленіе, что и магнитный меридіанъ, то обороты соленоида, по которымъ проходитъ токъ, должны установиться перпендикулярно къ этому направленію.

Рис. 292

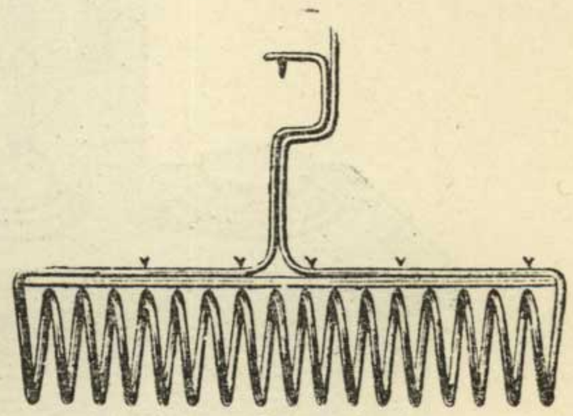


Станокъ Ампера.

Два соленоида дѣйствуютъ другъ на друга точно такъ же, какъ два магнита. Это является простымъ слѣдствіемъ того закона, что два проводника, по которымъ проходитъ токъ, оказываютъ дѣйствіе другъ на друга.

Въ самомъ дѣлѣ, если помѣстить два соленоида другъ противъ друга (рис. 294), то будемъ имѣть два поставленныхъ другъ противъ друга круговыхъ тока, которые имѣютъ либо одно и то же направленіе, либо противоположныя. Въ первомъ случаѣ проводники притягиваются, во второмъ отталкиваются. На рис. 294 легко видѣть, что притяженіе имѣетъ мѣсто между „противоположными“ полюсами соленоидовъ, а отталкиваніе между „одинаковыми“ полюсами (*A* и *D* противоположные полюсы, *A* и *C* одинаковые).

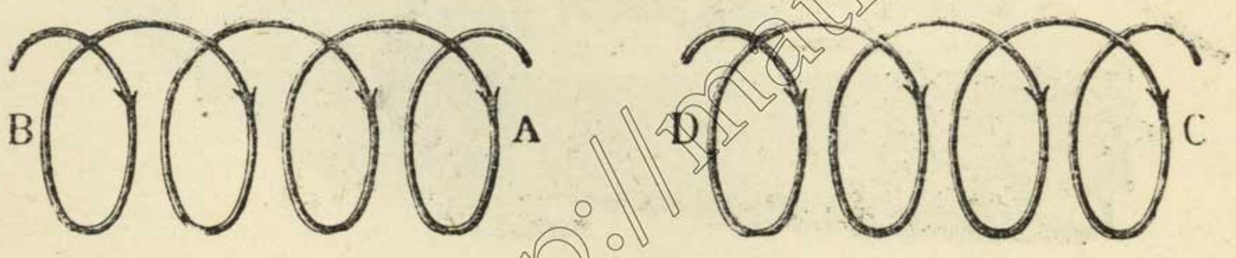
Рис. 293



Соленоидъ.

Если одинъ изъ двухъ соленоидовъ замѣнить магнитомъ, то онъ произведетъ то же дѣйствіе, что и соленоидъ. Сѣверный полюсъ магнита притягиваетъ одинъ изъ полюсовъ соленоида и отталкиваетъ другой; соотвѣтствующимъ образомъ дѣйствуетъ на соленоидъ и южный полюсъ. Для опредѣленія сѣвернаго полюса соленоида Амперъ даетъ слѣдующее правило: сѣверный полюсъ будетъ указываться большимъ пальцемъ, если держать правую руку по направленію тока, повернувъ ладонь къ оси соленоида. *A* и *C* представляютъ сѣверные полюсы (рис. 294), *B* и *D* южные.

Рис. 294



Притяженіе и отталкиваніе соленоидовъ.

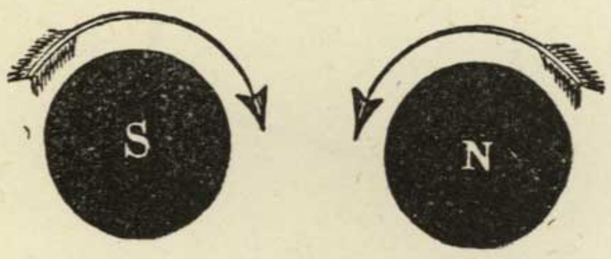
365. Амперъ предложилъ не считать магнитизмъ особой силой природы, такъ какъ каждый магнитъ можно считать носителемъ круговыхъ электрическихъ токовъ. Для удержанія представленія о молекулярныхъ магнитахъ нужно воображать, что въ каждой молекулѣ магнита проходитъ круговой электрическій токъ. Но при этомъ возникаетъ вопросъ о томъ, существуютъ ли уже молекулярные токи въ ненамагниченномъ желѣзѣ или они появляются

http://mathesis.ru

лишь тогда, когда желѣзо намагничиваютъ. Самъ Амперъ не высказывается по этому вопросу; безъ отвѣта онъ остается и въ дальнѣйшемъ. Дѣйствительно, эти непрерывно кружащіеся токи представляютъ большія затрудненія, такъ какъ электрическій токъ постоянно выдѣляетъ тепло и не могъ бы существовать безъ потребленія энергіи. Амперъ полагалъ, что молекулярные токи не встрѣчаютъ никакого сопротивленія и вслѣдствіе этого не выдѣляютъ тепла и не потребляютъ энергіи. Если не считаться съ этимъ затрудненіемъ, то всѣ магнитныя явленія могутъ быть объяснены дѣйствіемъ круговыхъ токовъ. Для объясненія земного магнитизма пришлось бы допустить существованіе токовъ, обѣгающихъ землю съ востока на западъ.

366. Замѣтивъ, что стальной стержень намагничивается, если онъ окруженъ электрическимъ токомъ, Араго въ дѣйствительности уже изобрѣлъ электромагнитъ.

Рис. 295



Полюсы электромагнита.

Первые болѣе значительные электромагниты были устроены Стёрджономъ въ 1825 году. Они состояли изъ стержня мягкаго желѣза, обмотаннаго изолированной мѣдной проволокой. Когда по проволокѣ проходитъ токъ, желѣзный стержень намагничивается. На какомъ концѣ стержня получится сѣверный полюсъ и на какомъ южный, —это можно указать либо на основаніи правила, приведеннаго въ § 364, либо на основаніи слѣдующаго правила, даннаго также Ампером: тотъ конецъ, который, будучи обращенъ къ наблюдателю, обѣгается токомъ въ направленіи часовой стрѣлки, будетъ южнымъ полюсомъ (рис. 295). По прекращеніи тока желѣзный стержень сейчасъ же размагничивается. На рис. 296 изображенъ электромагнитъ, —именно, подковообразный. Въ физическомъ кабинетѣ политехникума въ Копенгагенѣ сохраняется большой электромагнитъ, построенный Эрстедомъ въ 1847 году. Когда по его проволочной обмоткѣ проходитъ токъ въ 8 амперовъ, то онъ намагничивается такъ сильно, что для отрыванія якоря, имѣющаго 32 фунта вѣса, необходимъ грузъ въ 3000 фунтовъ.

Рис. 296

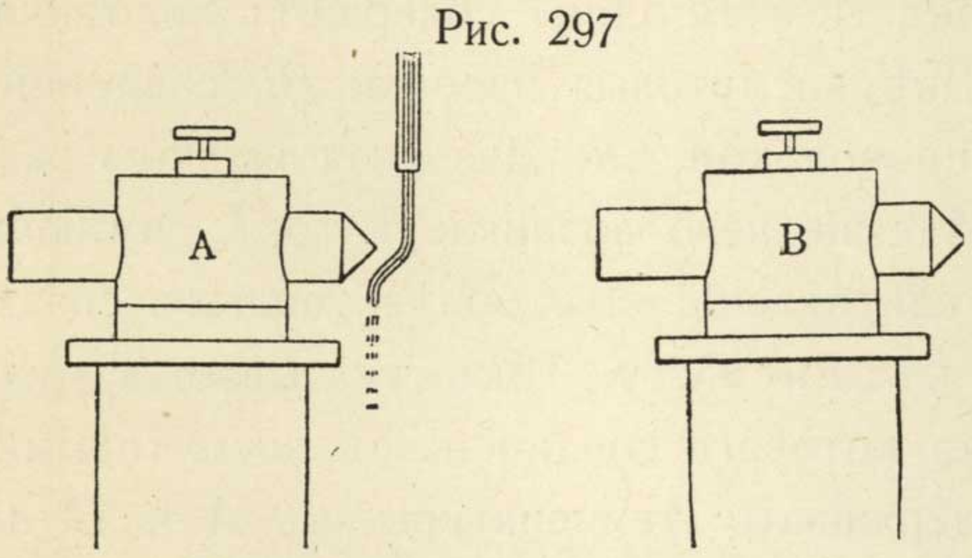
Электромагнитъ.

Пользуясь электромагнитомъ, можно получить сильное магнитное поле,—превосходное средство для изслѣдованія того, какъ относятся различныя вещества къ магнитизму. Такого рода изслѣдованія были впервые произведены Фарадэемъ, который нашелъ, что въ большей или меньшей степени магнитизмъ

http://mathesis.ru

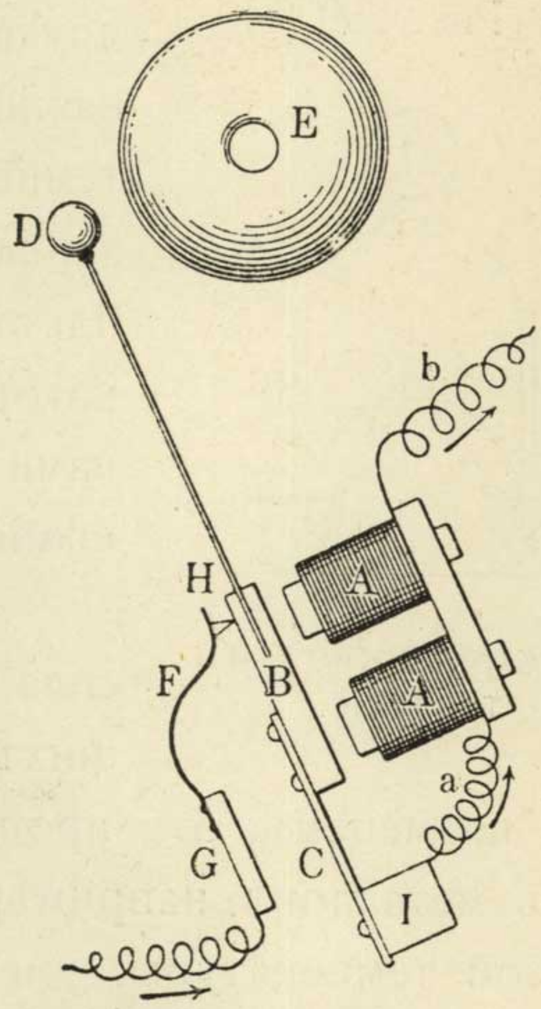
дѣйствуетъ на всѣ тѣла. Если подвѣсить желѣзную палочку на нити между полюсами электромагнита, то палочка располагается по линіи, соединяющей полюсы. Въ концѣ, обращенномъ къ сѣверному полюсу, получается, какъ извѣстно, южный полюсъ, а въ другомъ концѣ сѣверный. Съ никкелемъ, кобальтомъ, хромомъ, марганцемъ и платиной дѣло происходитъ такъ же, какъ и съ желѣзомъ. Поэтому перечисленные металлы относятся къ магнитнымъ. Но съ большинствомъ тѣлъ дѣло происходитъ совершенно иначе. Если, напримѣръ, подвѣсить между полюсами сильнаго подковообразнаго магнита висмутовую палочку, то она устанавливается перпендикулярно къ линіи, соединяющей полюсы. Такимъ образомъ, висмутъ отталкивается обоими полюсами. Подобныя тѣла Фарадэй назвалъ діамагнитными. Само явленіе наблюдалось уже и раньше. Кромѣ висмута, діамагнитными металлами являются, между прочимъ, цинкъ, олово, натрій, ртуть, свинецъ, серебро, мѣдь и золото. Діамагнитны также и металлоиды, особенно сѣра, фосфоръ и уголь. Растворы солей магнитныхъ металловъ также

Рис. 297



Магнитизмъ растворовъ.

Рис. 298



Электрическій звонокъ.

магнитны, другія жидкости вообще діамагнитны. На рис. 297 показано притягивающее дѣйствіе магнитнаго полюса на растворъ хлористаго желѣза. Фарадэй изслѣдовалъ также магнитныя свойства газовъ и нашелъ, что газы, вообще говоря, діамагнитны. Изъ изслѣдованныхъ имъ газовъ только кислородъ является магнитнымъ.

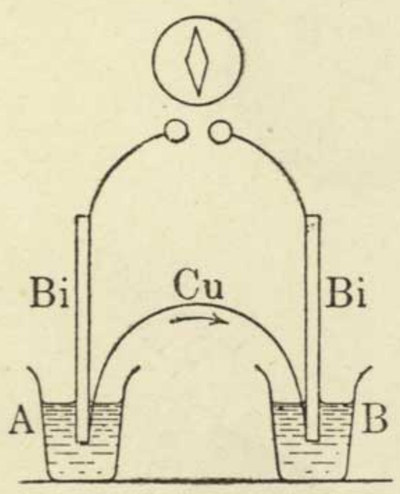
367. Электромагнитъ обладаетъ весьма цѣннымъ свойствомъ—тѣмъ именно, что онъ можетъ быть сдѣланъ весьма сильнымъ. Сверхъ того, онъ обладаетъ еще тѣмъ цѣннымъ свойствомъ, что съ перерывомъ тока онъ мгновенно становится немагнитнымъ. Замыканіе и размыканіе тока можетъ очень быстро производиться автоматически при помощи пружины. Одно изъ приспособленій, служащихъ для этой цѣли, названо по имени изобрѣтателя, Вагнера во Франкфуртѣ (1799—1879), молоточкомъ Вагнера. Молоточекъ Вагнера составляетъ существенную часть электрическаго звонка. *AA* (рис. 298) представляетъ электромагнитъ. Токъ гальваническаго элемента проходитъ по прибору въ направленіи, указанномъ стрѣлками. Но какъ только токъ замкнутъ, желѣзные сердечники электромагнита *AA* намагничиваются и притягиваютъ якорь *B*. Вслѣдствіе этого уничтожается прикосновеніе металлическаго острія и *B* и токъ прерывается. А такъ какъ электромагнитъ тогда уже не дѣйствуетъ, то пружиной *C* якорь оттягивается назадъ. Но при этомъ токъ снова замыкается въ *H*, магнитъ снова притягиваетъ якорь и т. д. Такимъ образомъ, шарикъ *D*, соединенный съ якоремъ, качается впередъ и назадъ и постоянно ударяетъ въ колокольчикъ *E*. Молоточекъ Вагнера, какъ мы увидимъ, играетъ важную роль въ индукціонныхъ приборахъ.

http://mathesis.ru

Термоэлектричество

368. Уже нѣсколько разъ упомянутый нѣмецкій физикъ Зеебекъ (род. въ 1770 году въ Ревелѣ, ум. въ 1831 году въ Берлинѣ), другъ Эрстеда, съ помощью мультипликатора сдѣлалъ въ 1821 году замѣчательное открытіе. Онъ положилъ мѣдную пластинку на пластинку сурьмы и соединилъ пластинки съ обмоткой мультипликатора посредствомъ мѣдной проволоки. Когда онъ сжималъ рукой металлическія пластинки, возникалъ электрическій токъ. Если же, напротивъ, онъ сжималъ пластинки какимъ-нибудь инымъ способомъ, т. е. не касаясь ихъ рукою, то тока не получалось. Зеебекъ тотчасъ понялъ, что причиной возникновенія тока является теплота руки. Онъ нашелъ, что токъ возникаетъ въ томъ случаѣ, когда мѣста прикосновенія различныхъ металловъ имѣютъ неодинаковую температуру. Для наблюденія этого явленія онъ построилъ приборъ, изображенный на рис. 299.

Рис. 299

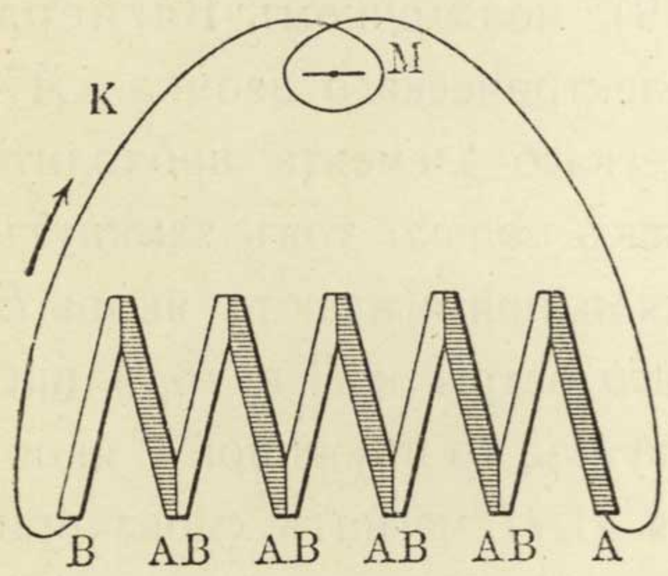


Электричество отъ теплоты.

Изъ двухъ сосудовъ *A* и *B* одинъ содержитъ холодную воду, другой теплую. Двѣ висмутовыя палочки *Bi* соединены припаянной мѣдной проволокой *Cu*. Два спая имѣютъ различную температуру, вслѣдствіе чего возникаетъ токъ, имѣющій указанное стрѣлкой направленіе. Въ болѣе теплыхъ спаяхъ токъ идетъ отъ мѣди къ висмуту. Токъ указывается мультипликаторомъ, обмотка котораго соединена съ висмутовыми палочками. Если поддерживать температуры въ *A* и *B* неизмѣнными, то и сила тока не мѣняется.

Пока разность температуръ въ *A* и *B* незначительна, сила тока пропорціональна разности температуръ. Для большихъ разностей температуръ, когда, напримѣръ, спай нагрѣвается пламенемъ, эта пропорціональность, однако, уже не имѣетъ мѣста. Для нѣкоторыхъ металловъ, напримѣръ, для желѣза и мѣди, токъ, начиная съ нѣкоторой опредѣленной температуры, уменьшается и въ концѣ концовъ совершенно прекращается. Если продолжать нагрѣваніе дальше, то возникаетъ токъ обратнаго направленія. Если спаять желѣзную и мѣдную проволоки и въ одномъ спаѣ поддерживать температуру 0^0, а другой спай нагрѣвать, то окажется, что при 275^0C токъ имѣетъ наибольшую силу, а при 550^0 онъ прекращается. При температурахъ выше 550^0 онъ идетъ въ обратномъ направленіи.

Рис. 300



Термоэлектрическая батарея.

Термоэлектрическое дѣйствіе различно для различныхъ металловъ. Сильнѣе всего оно проявляется въ висмутѣ и сурьмѣ. Если спаять рядъ сурьмяныхъ (*A*) и висмутовыхъ (*B*) палочекъ, то онѣ образуютъ термоэлектрическую батарею или такъ называемый термоэлектрическій столбикъ. Если будутъ нагрѣты, напримѣръ, обозначенные на рис. 300 черезъ *AB* спаи, то въ этихъ спаяхъ токъ будетъ идти отъ висмута къ сурьмѣ. Электродвижущая сила гальваническаго элемента обусловливается химическимъ процессомъ, электродвижущая сила термоэлектрическаго элемента теплотой.

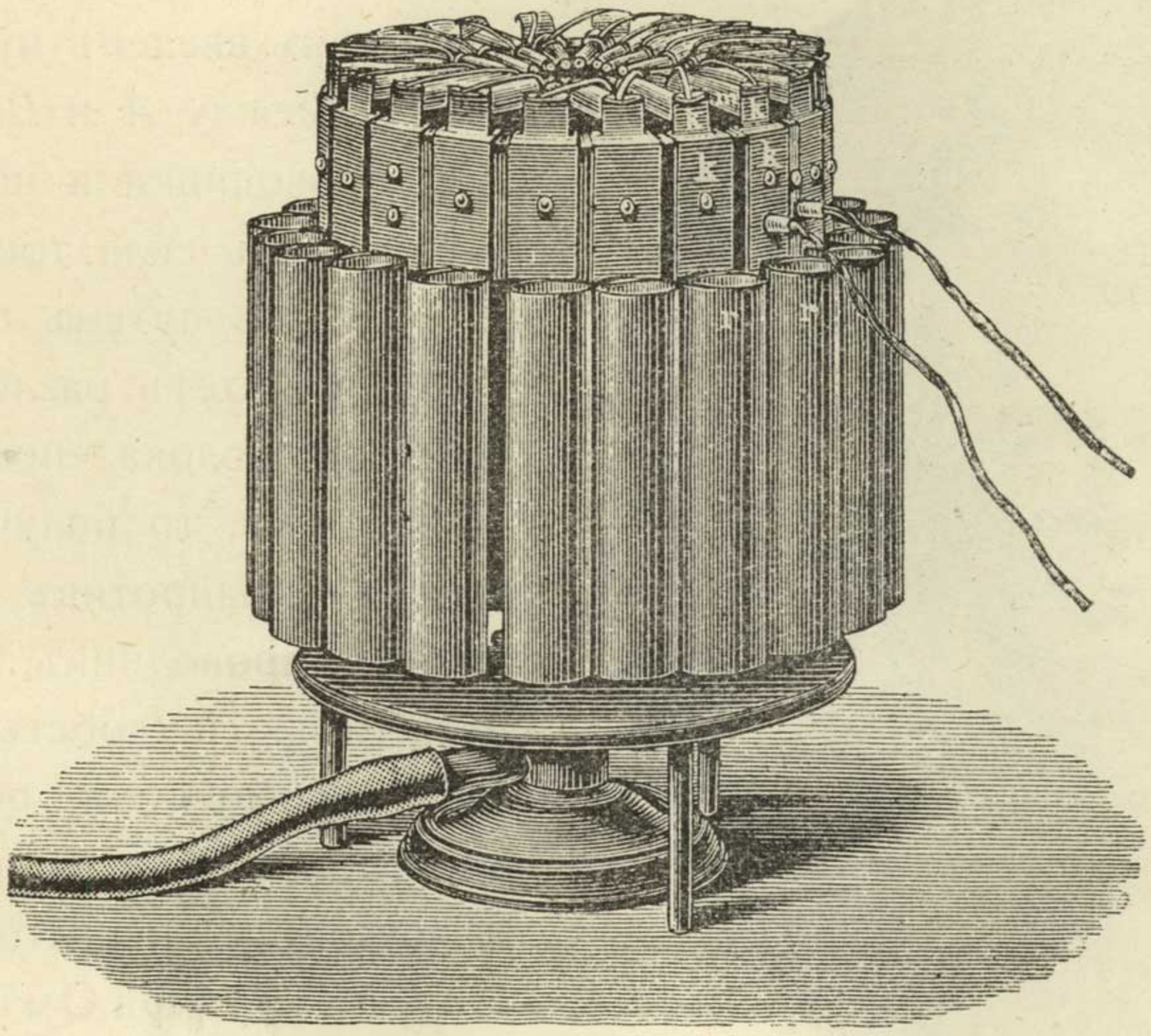
Примѣненія термоэлектрическаго столбика были уже указаны въ §§ 136, 137 и 149.

http://rutracker.ru

Впрочемъ, электродвижущая сила термоэлектрическаго элемента незначительна. Требуется большое число элементовъ (напримѣръ, 40 элементовъ изъ нейзильбера и сѣрнистой мѣди), чтобы получить токъ, достаточный для разложенія воды.

Термоэлектрическіе столбики для полученія болѣе сильныхъ токовъ были построены въ послѣднее время Кламономъ, Ноэ и Гюльхеромъ. Элементы столбика Ноэ (рис. 301) состоятъ изъ нейзильбера и сплава сурьмы съ цинкомъ. Столбъ

Рис. 301



Термоэлектрическій столбикъ Ноэ.

изъ 20 такихъ элементовъ обладаетъ, приблизительно, такой же электродвижущей силой, какъ 1 элементъ Бунзена.

Во всѣхъ термоэлектрическихъ элементахъ въ электричество превращается лишь незначительная часть сообщенной теплоты. До настоящаго времени еще не удалось въ большомъ масштабѣ дешево превращать въ электричество теплоту, полученную отъ сжиганія угля или газа.

Законъ Ома

369. Какъ измѣряется сила электрическаго тока, указывалось выше. Но токъ не характеризуется вполнѣ одной только силой. Именно, на силу тока въ сильной степени вліяетъ проводникъ, по которому идетъ токъ. Этотъ проводникъ всегда представляетъ извѣстное сопротивленіе току. Изслѣдованіе этихъ соотношеній предпринималось уже давно различными изслѣдователями, напримѣръ, Дэви; но окончательно они были выяснены впервые Георгомъ Симономъ Омомъ.

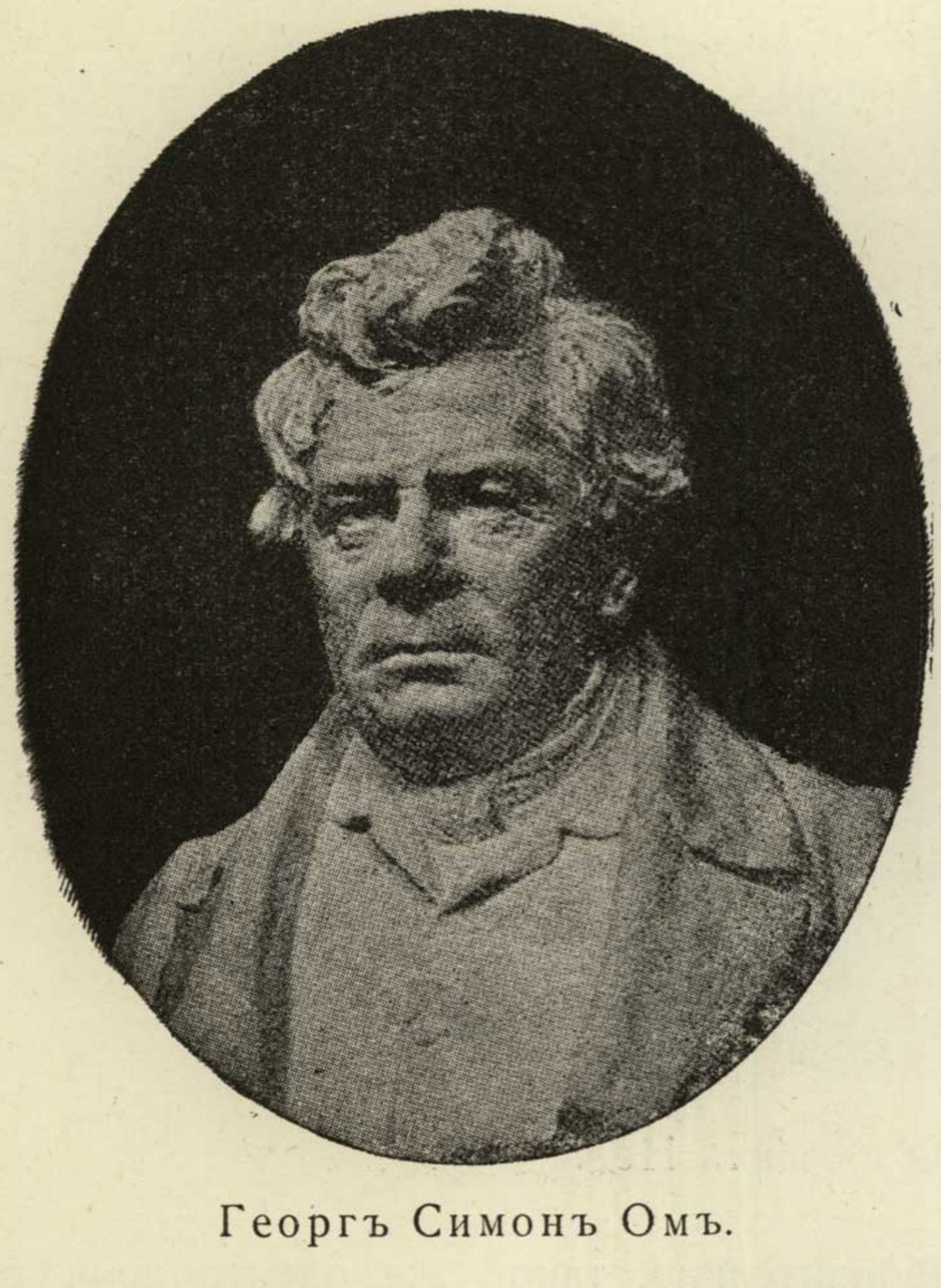
Омъ, сынъ слесаря, родился въ 1787 году въ Эрлангенѣ. Онъ посѣщалъ университетъ родного города, гдѣ сдѣлался приватъ-доцентомъ. Вскорѣ онъ, однако, оставилъ академическое поприще, чтобы принять должность преподавателя реальнаго училища въ Бамбергѣ. Съ 1817 года онъ былъ старшимъ учителемъ въ гимназіи въ Кёльнѣ, а съ 1826 года учителемъ въ военной школѣ въ Берлинѣ. Съ 1833 до

http://mathesis.ru

1841 года онъ былъ профессоромъ въ политехнической школѣ въ Нюрнбергѣ, а съ 1841 до своей смерти (1854) онъ былъ профессоромъ физики въ мюнхенскомъ университетѣ.

Первая работа Ома о сопротивленіи, оказываемомъ току металлами, появилась въ 1826 году. Въ своихъ первыхъ опытахъ онъ поступалъ слѣдующимъ образомъ.

Рис. 302



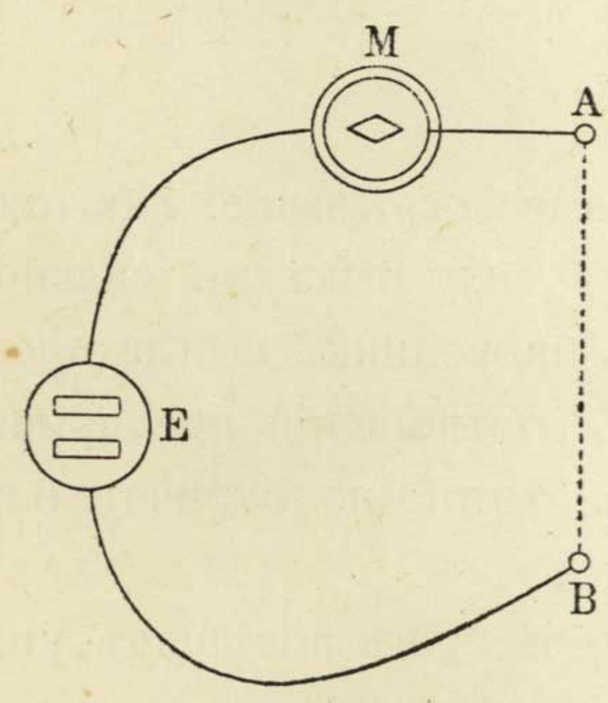
Георгъ Симонъ Омъ.

Отъ гальваническаго элемента *E* (рис. 303) мѣдныя проволоки идутъ къ чашечкамъ съ ртутью *A* и *B*. Въ одну изъ проволокъ введенъ мультипликаторъ *M*. Затѣмъ между *A* и *B* вводились различные проводники и на мультипликаторѣ наблюдалась сила тока.

Этимъ путемъ онъ могъ сравнить проводимость различныхъ проволокъ. Если проволока представляла дурной проводникъ, то получался слабый токъ, если же, напротивъ, она представляла хорошій проводникъ, то возникалъ сильный токъ. Неудобствомъ въ этихъ опытахъ являлось то обстоятельство, что элементъ, вслѣдствіе поляризаціи (§ 320), дѣйствовалъ непостоянно. По совѣту Поггендорффа Омъ поэтому замѣнилъ гальваническій элементъ термоэлектрическимъ изъ висмута и мѣди. Разность температуръ обоихъ спаевъ поддерживалась постоянной тѣмъ, что одинъ спай погружался въ тающій ледъ, а другой въ кипящую воду.

370. Въ качествѣ единицы мѣры для измѣренія сопротивленій Омъ пользовался довольно толстой мѣдной проволокой длиною въ 4 дюйма. Когда онъ вводилъ эту проволоку между *A* и *B*, онъ получалъ токъ, который указывался опредѣленнымъ отклоненіемъ стрѣлки мультипликатора. Вводя другія проволоки, по отклоненію стрѣлки можно было судить, насколько токъ сталъ сильнѣе или слабѣе, или, другими словами, по отклоненію стрѣлки можно было видѣть, насколько введенная проволока проводитъ токъ лучше или хуже „нормальной мѣдной проволоки“.

Рис. 303



Опытъ Ома.

Все равно — приписать ли различнымъ металламъ различную способность проводить токъ или различное сопротивленіе, которое они оказываютъ току. Если проволоку, введенную въ цѣпь, замѣнить другой проволокой и если токъ вслѣдствіе этого упадетъ на половину первоначальной силы, то первая проволока обладаетъ вдвое большей проводимостью или же вторая проволока обладаетъ вдвое большимъ сопротивленіемъ.

http://mathesis.ru

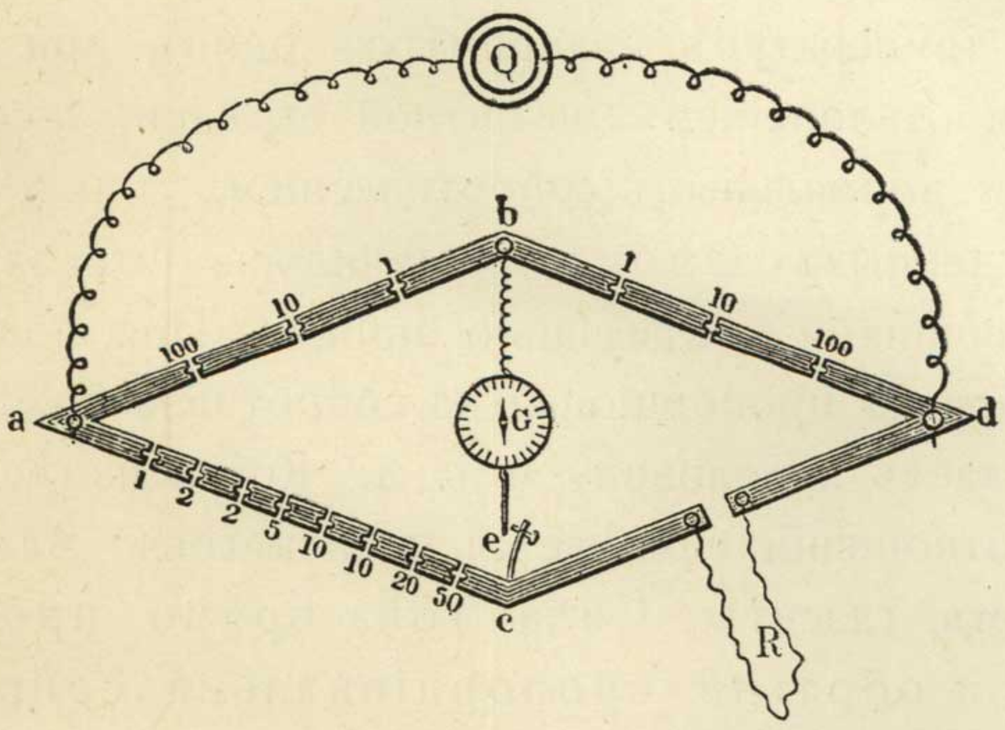
Такимъ образомъ, Омъ, измѣряя проводимость, вмѣстѣ съ тѣмъ измѣрялъ сопротивленіе. Изъ этихъ измѣреній были выведены слѣдующіе общіе законы: 1. Сопротивленіе прямо пропорціонально длинѣ проволоки. Изъ двухъ проволокъ изъ одного и того же металла и одинаковаго поперечнаго сѣченія, изъ коихъ одна въ пять разъ длиннѣе другой, болѣе длинная проволока представляетъ въ пять разъ большее сопротивленіе, чѣмъ болѣе короткая. 2. Сопротивленіе обратно пропорціонально поперечному сѣченію. Если поэтому поперечное сѣченіе проволоки увеличивается въ такомъ же отношеніи, какъ и длина, то сопротивленіе остается одинаковымъ при всякой длинѣ. Двѣ проволоки изъ одного и того же металла длиною одна въ 20 *м*, другая въ 100 *м*, обладаютъ одинаковымъ сопротивленіемъ, если поперечное сѣченіе первой равно 4 *квмм*, а поперечное сѣченіе другой 20 *квмм*.

Въ качествѣ единицы мѣры сопротивленія току Якоби (§ 357) пользовался сопротивленіемъ мѣдной проволоки длиною въ 1 *м* и съ поперечнымъ сѣченіемъ въ 1 *квмм*. Позднѣе въ употребленіе вошла единица Сименса. Она представляетъ сопротивленіе столбика ртути въ 1 *м* длиною и съ поперечнымъ сѣченіемъ въ 1 *квмм*. Въ настоящее время единицей сопротивленія служитъ „Омъ“—сопротивленіе столба ртути въ 106·3 *см* длиною и въ 1 *квмм* поперечнаго сѣченія (при 0^0).

371. Чтобы измѣрить сопротивленіе проводника, вводятъ въ цѣпь постояннаго элемента этотъ проводникъ и тангенсъ-гальванометръ и наблюдаютъ отклоненіе стрѣлки. Затѣмъ удаляютъ проводникъ и на его мѣсто вводятъ постепенно столько „омовъ“, чтобы стрѣлка отклонилась на такой же уголъ.

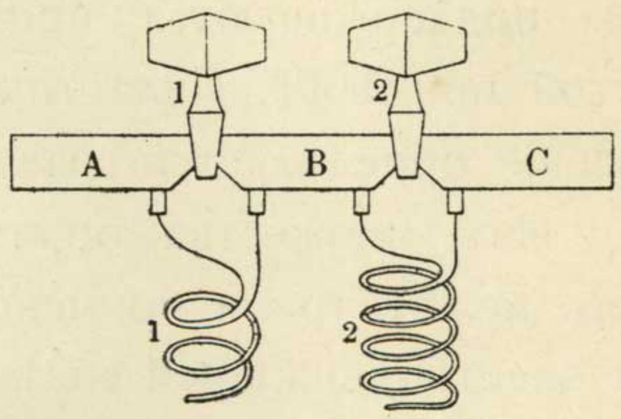
Приборъ, которымъ большею частью пользуются для измѣренія сопротивленій, есть Витстоновъ мостикъ. Рис. 304 (схематическій) показываетъ устройство моста,

Рис. 304



Витстоновъ мостикъ.

Рис. 305



Спирали сопротивленій.

соединеннаго съ реостатомъ Сименса. Токъ элемента *Q* въ точкѣ *a* развѣтвляется и идетъ къ *d* частью черезъ *b*, частью черезъ *c*. Въ мѣстахъ, указанныхъ на рисункѣ числами, можно вводить въ латунный проводникъ сопротивленія въ 1, 2, 5, 10, 20, 50 и 100 омовъ. Пусть *R* будетъ проводникъ, сопротивленіе коего нужно опредѣлить. Какимъ образомъ производится включеніе и выключеніе сопротивленій, видно на рис. 305. Сопротивленіями служатъ спиральныя проволоки, по которымъ токъ долженъ проходить, когда отдѣльныя части *A*, *B*, *C* цѣпи соединены только посредствомъ этихъ спиралей, т. е. когда отсутствуетъ второе хорошо проводящее (безъ сопротивленія) соединеніе, достигаемое всаживаніемъ штеп-

http://mathesis.ru

селей 1, 2 между отдѣльными частями провода. Включеніе сопротивленій достигается, такимъ образомъ, выниманіемъ штепселей.

Соединеніе *bc*, въ которое включенъ гальванометръ, и есть самый мостикъ. Въ точкѣ *e* мостикъ прерванъ и здѣсь онъ можетъ замыкаться помощью клавиши. Если включенныя въ *ab* и *bd* сопротивленія относятся другъ къ другу, какъ сопротивленія, введенныя въ *ac* и *cd*, то токъ не пойдетъ по мостику. Когда слѣдовательно, первыя два сопротивленія равны, равны и послѣднія, если въ мостикѣ и въ гальванометрѣ, введенномъ въ мостикъ, тока нѣтъ. Для измѣренія сопротивленія проводника *R* приходится, такимъ образомъ, только ввести въ *ab* и *bd* два одинаковыхъ сопротивленія и затѣмъ выниманіемъ штепселей включить въ *ac* столько „омовъ“, чтобы въ мостикѣ не было тока. Тогда сопротивленіе *R* будетъ такъ же велико, какъ и сопротивленіе, которое было включено въ *ac* выниманіемъ штепселей.

Сопротивленіе проволоки длиною въ 1 *м* и съ поперечнымъ сѣченіемъ въ 1 *квмм*, выраженное въ омахъ, есть такъ называемый коэффиціентъ сопротивленія соотвѣтствующаго металла. Онъ равенъ для

серебра	0·016	желѣза	0·1
чистой мѣди	0·016	платины	0.1
обыкновенной мѣди . . .	0·025	свинца	0·2
кремнистой бронзы . . .	0·02	нейзильбера	0·2
алюминія	0·03	ртути	0·95.
цинка	0·056		

372. При изслѣдованіяхъ сопротивленія проводниковъ возникаетъ вопросъ о томъ, въ какой зависимости другъ отъ друга находятся электродвижущая сила источника электричества, сила полученнаго тока и преодолѣваемое токомъ сопротивленіе. Источникъ электричества, которымъ пользовался Омъ, состоялъ изъ термоэлектрическаго элемента, дѣйствующаго съ постоянной электродвижущей силой, если спаи поддерживаются при неизмѣнной температурѣ, напримѣръ, одинъ при 0°, а другой при 100°. Сила тока указывается отклоненіемъ магнитной стрѣлки, а сопротивленіе опредѣляется сравненіемъ его съ „нормальнымъ сопротивленіемъ“ (ср. § 370).

Изъ множества опытовъ, произведенныхъ Омомъ, получилось, что зависимость между тремя поименованными величинами чрезвычайно проста. При постоянной электродвижущей силѣ сила тока обратно пропорціональна сопротивленію. Когда сопротивленіе удваивается, сила тока падаетъ наполовину и т. д. Когда измѣняется электродвижущая сила, то въ томъ же отношеніи измѣняется и сила тока. Законъ Ома, въ полной формѣ, такимъ образомъ, гласитъ: Сила тока прямо пропорціональна электродвижущей силѣ и обратно пропорціональна сопротивленію или иначе: мѣра электродвижущей силы есть произведеніе силы тока на сопротивленіе.

373. Опредѣливъ раньше единицу сопротивленій (омъ), мы теперь установимъ единицу силы тока и единицу электродвижущей силы.

Единица силы тока называется амперомъ. Токъ силою въ 1 единицу выдѣляетъ въ одну минуту 7 (точнѣе 6·96) *кбсм* водорода или 10·440 *кбсм* гремучаго газа. Такимъ образомъ, токъ въ 10 амперъ есть такой токъ, который выдѣляетъ въ минуту 70 *кбсм* водорода.

Единица электродвижущей силы получается изъ единицъ сопротивленій и силы

http://mathesis.ru

тока при посредствѣ закона Ома. Это есть электродвижущая сила такого источника электричества, который въ цѣпи съ сопротивленіемъ въ 1 омъ даетъ токъ силою въ 1 амперъ. Такая единица называется вольтомъ. Съ этими названіями единицъ силы тока, сопротивленія и электродвижущей силы можно выразить законъ Ома слѣдующимъ образомъ:

$$\text{амперы} = \frac{\text{вольтамъ}}{\text{омы}}$$

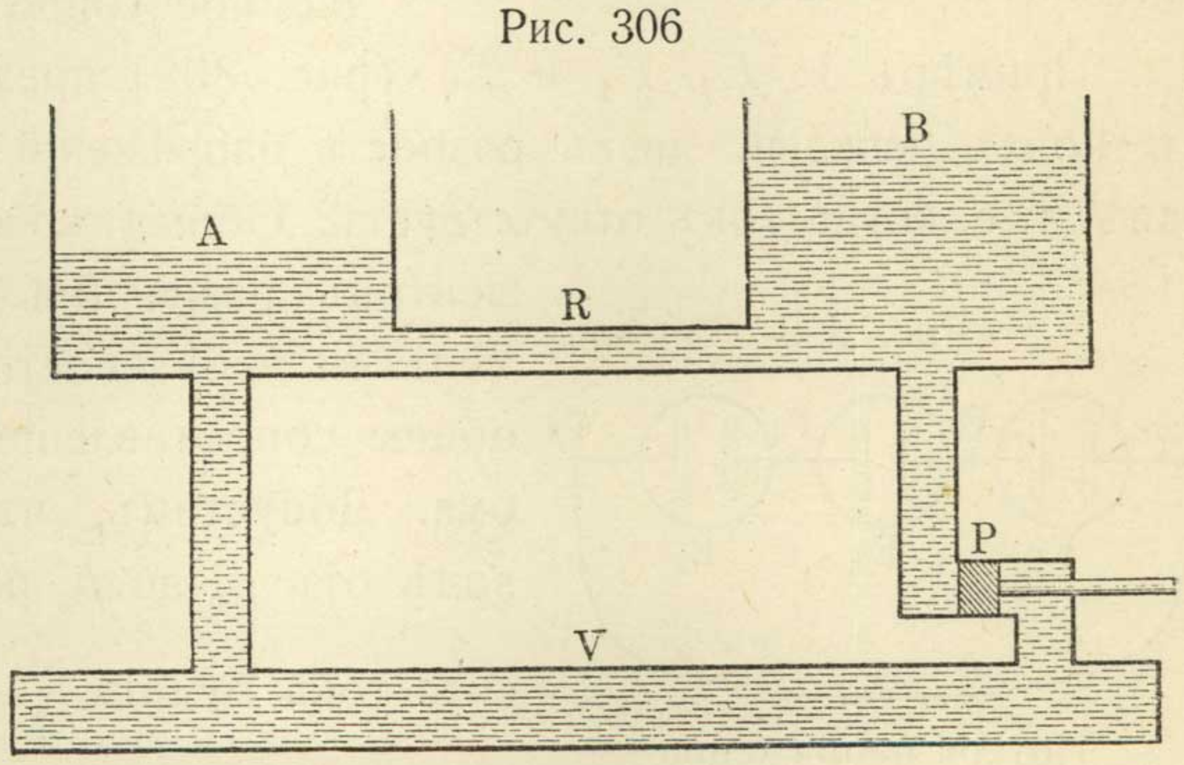
или

$$\text{амперы} \times \text{омы} = \text{вольтамъ}.$$

Названія амперъ, омъ и вольтъ были установлены въ 1881 году на международномъ конгрессѣ въ Парижѣ, въ честь Ампера, Ома и Вольты. Амперъ особенно занимался изслѣдованіемъ силы электрическаго тока, Омъ работалъ преимущественно надъ измѣреніемъ сопротивленій, а Вольта въ свое время ввелъ названіе „электродвижущей силы“.

374. Для замкнутаго цикла, въ которомъ токъ идетъ по проводу отъ одного полюса элемента къ другому полюсу и по самому элементу опять возвращается къ первому полюсу, законъ Ома легко объяснить. Токъ вездѣ одинаковъ, а сопротивленіе частью внутреннее (въ элементѣ), частью внѣшнее (въ проводѣ). Электричество приводится въ движеніе электродвижущей силой элемента. Вольта говорилъ, что электродвижущая сила обусловливаетъ разность напряженій на полюсахъ элемента, и эта разность напряженій погонитъ электричество отъ положительнаго полюса къ отрицательному. Электрическій токъ можно сравнить съ теченіемъ воды, происходящимъ отъ того, что вода падаетъ изъ мѣста съ большимъ давленіемъ въ мѣсто съ меньшимъ давленіемъ. Въ сосудѣ, имѣющемъ форму, изображенную на рис. 306, вода течетъ изъ B по трубкѣ R въ A до тѣхъ поръ, пока въ B давленіе остается большимъ, чѣмъ въ A. Эта разность давленій соотвѣтствуетъ разности напряженій электрическаго тока. Нагнетательный насосъ P можетъ служить для того, чтобы поддерживать разность давленій постоянной. Когда насосъ накачиваетъ въ B столько же воды, сколько ея вытекаетъ изъ B въ A, то высота воды въ B остается неизмѣнной, и если изъ A вытекаетъ въ V столько же воды, сколько протекаетъ черезъ R, то возникаетъ постоянное теченіе воды, которое можно сравнить съ постояннымъ электрическимъ токомъ. Нагнетательный насосъ соотвѣтствуетъ электродвижущей силѣ, которая въ постоянномъ элементѣ дѣйствуетъ равномѣрно.

Рис. 306



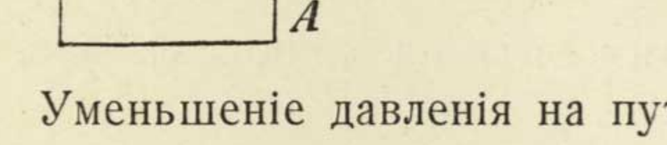
Круговой токъ воды.

375. Законъ Ома дѣйствителенъ и для части цѣпи. Пока въ проволокѣ AB (рис. 307) идетъ токъ, между A и B должна существовать разность напряженій, и если напряженіе въ A больше, чѣмъ въ B, то токъ идетъ въ направленіи отъ A къ B. Если и теперь сравнить электрическій токъ съ теченіемъ воды, которая идетъ по

http://mathesis.ru

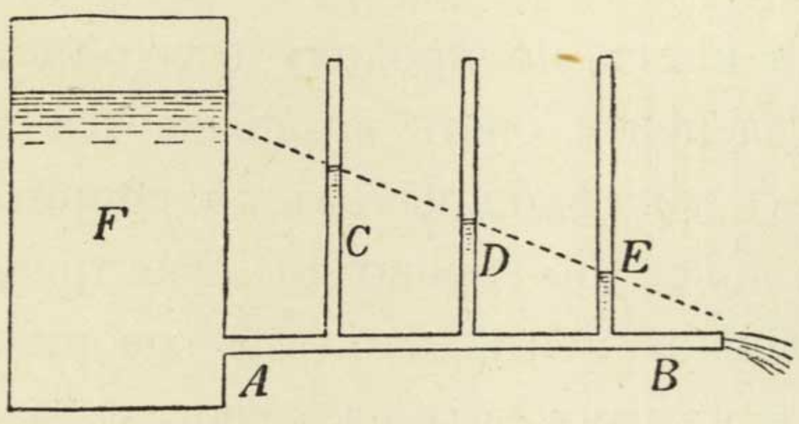
трубкѣ, то легко видѣть, что вода лишь тогда течетъ изъ A въ B, когда давленіе въ A больше, чѣмъ въ B. Давленіе, слѣдовательно, вдоль по пути тока уменьшается. Это легко видѣть на рис. 308. Вода течетъ изъ F по трубкѣ AB. Давленія, которыя гонятъ воду, указаны высотою столбовъ воды въ трубкахъ C, D и E. Давленіе равномѣрно уменьшается. Точно такъ же происходитъ и съ электрическимъ напряженіемъ въ однородной металлической проволокѣ, по которой проходитъ электрическій токъ. Электродвижущая сила источника электричества вызываетъ разность напряженій, которая дѣйствуетъ вдоль всего провода и притомъ такъ, что въ равноудаленныхъ точкахъ разности напряженій одинаковы. Если же, напротивъ, проволока, по которой идетъ токъ, неоднородна, то напряженіе убываетъ не пропорціонально длинѣ. Если, напримѣръ, часть проволоки имѣетъ вдвое меньшее поперечное сѣченіе, то напряженіе въ этомъ мѣстѣ падаетъ вдвое скорѣе. Въ этомъ мѣстѣ сопротивленіе вдвое больше, чѣмъ тамъ, гдѣ поперечное сѣченіе больше, и такъ какъ токъ по всему проводу обладаетъ одной и той же силой, то необходима вдвое большая разность напряженій, чтобы токъ могъ преодолѣть двойное сопротивленіе.

Рис. 307



Токъ изъ A въ B.

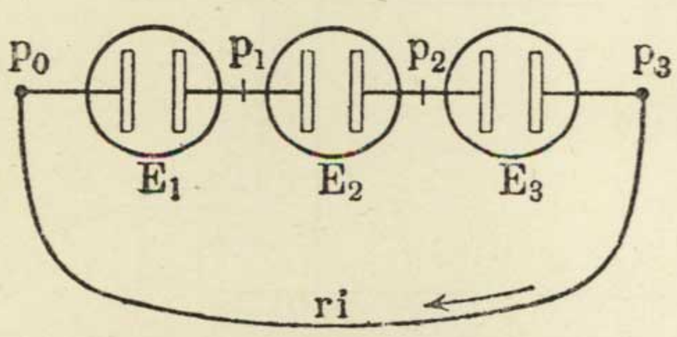
Рис. 308



Уменьшеніе давленія на пути тока.

Примѣръ 1. E_1, E_2 и E_3 (рис. 309) представляютъ три элемента Бунзена, изъ коихъ каждый даетъ разность напряженій въ 1·8 вольта, когда проводъ прерванъ, т. е. когда токъ отсутствуетъ. Общая электродвижущая сила этихъ трехъ элементовъ равна 5·4 вольта. Сопротивленіе каждаго элемента въ отдѣльности составляетъ 0·1 ома; слѣдовательно, общее сопротивленіе этихъ трехъ элементовъ равно 0·3 ома. Допустимъ, что сопротивленіе во внѣшнемъ проводѣ отъ p_0 до p_3 равно 1·5 ома. Тогда, по закону Ома, сила тока будетъ $\frac{5 \cdot 4}{1 \cdot 8} = 3$ амперамъ. Если теперь желаютъ знать, какъ велика разность напряженій между p_0 и p_3, когда токъ замкнутъ, то нужно примѣнить законъ Ома къ этой части цѣпи. Сила тока равна 3 амперамъ, сопротивленіе 1·5 ома; слѣдовательно, разность напряженій будетъ $3 \times 1 \cdot 5 = 4 \cdot 5$ вольта.

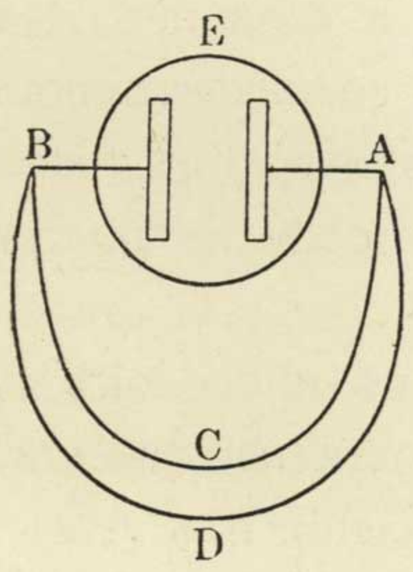
Рис. 309



Потеря напряженія.

Электродвижущая сила этой батареи, какъ сказано, равна 5·4 вольта. А такъ какъ мы теперь нашли, что разность напряженій отъ p_0 до p_3 равна 4·5 вольта, то по самой батареѣ будетъ проходить токъ, обладающій отъ p_3 до p_0 разностью напряженій въ 0·9 вольта. Это совпадаетъ съ произведеніемъ изъ силы тока (3 ампера) на сопротивленіе (0·3 ома), которое равно 0·9 вольтъ.

Рис. 310



Развѣтвленіе тока.

Примѣръ 2. E (рис. 310) есть гальваническій элементъ. Токъ идетъ отъ одного полюса къ другому по раздвоенному проводу. Пусть сопротивленіе въ проводѣ ACB будетъ m_1,

http://mathesis.ru

а сопротивленіе въ проводѣ ADB будетъ m_2. Спрашивается, какъ дѣйствуетъ двойной проводъ и какимъ сопротивленіемъ долженъ обладать одинъ проводъ между A и B, чтобы дѣйствовать такъ же, какъ двойной.

Чтобы отвѣтить на эти вопросы, мы должны вспомнить, что сила тока въ элементѣ равна суммѣ силъ тока въ обоихъ проводахъ. Это является простымъ слѣдствіемъ того, что на пути тока электричество не можетъ скопляться. Если мы обозначимъ разность напряженій между A и B черезъ e, то согласно закону Ома силы тока въ обоихъ проводахъ будутъ

$$s_1 = \frac{e}{m_1} \text{ и } s_2 = \frac{e}{m_2}.$$

Общая сила тока, идущаго по обоимъ проводамъ, будетъ, слѣдовательно,

$$s = s_1 + s_2 = \frac{e}{m_1} + \frac{e}{m_2}.$$

Если соединить A и B одной проволокой, сопротивленіе которой n такъ же велико, какъ оба сопротивленія m_1 и m_2 вмѣстѣ, то сила тока будетъ

$$s = \frac{e}{n}.$$

Слѣдовательно,

$$\frac{e}{n} = \frac{e}{m_1} + \frac{e}{m_2}$$

или

$$\frac{1}{n} = \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2}.$$

Но величина, обратная сопротивленію, есть проводимость. Такимъ образомъ, общая проводимость нѣсколькихъ проволокъ получится сложеніемъ проводимостей отдѣльныхъ проволокъ.

Индукція

376. Съ 1822 года въ записной книжкѣ Фарадэя существовалъ отдѣлъ съ заголовкомъ: „Chemical Notes, Hints, Suggestions and Objects of Pursuit“ (Химическія замѣтки, намеки, предположенія и предметы, подлежащіе дальнѣйшей разработкѣ).

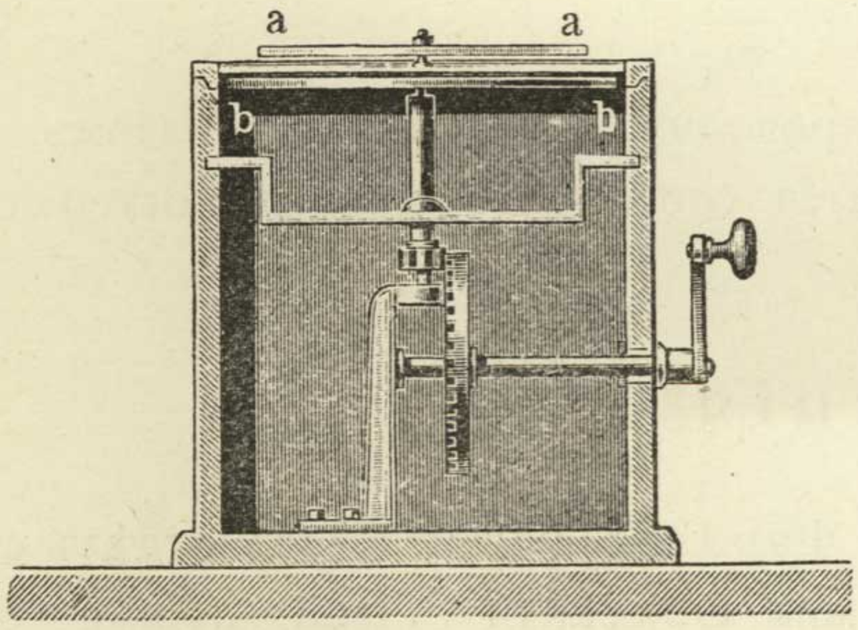
Въ этихъ наброскахъ можно найти начало многихъ его открытій. Здѣсь Фарадэй упоминаетъ о задачахъ, которыми онъ занимался отъ времени до времени. Въ одномъ мѣстѣ находится замѣтка: „Превращеніе магнитизма въ электричество“. Что магнитизмъ можетъ быть вызванъ электричествомъ, было извѣстно, конечно; но какъ обратить этотъ процессъ? Разсказываютъ, что Фарадэй всегда носилъ при себѣ маленькій электромагнитъ, который долженъ былъ ему напоминать, въ свободное отъ другихъ задачъ время, объ обдумываніи этого вопроса. Несмотря на то, что многочисленные опыты остались безплодны, Фарадэй не хотѣлъ отказаться отъ своей вѣры въ возможность получить электричество чрезъ посредство магнитизма.—Но въ 1824 году Араго сдѣлалъ наблюденіе, которое послужило для Фарадэя сильнымъ толчкомъ къ возобновленію изслѣдованія. Араго замѣтилъ, что магнитная стрѣлка, приведенная въ колебаніе надъ мѣднымъ листомъ, успокаивается необыкновенно быстро. Сначала Араго подумалъ, что въ этой мѣди содержалось желѣзо, но химическій

http://mathesis.ru

анализъ, произведенный Дюма, показалъ, что эта мѣдь была совершенно свободна отъ желѣза. Чтобы подробнѣе изслѣдовать явленіе, Араго построилъ приборъ, изображенный на рис. 311. Магнитная стрѣлка *aa* покоится на тонкомъ остріѣ, а мѣдный кругъ *bb* можетъ быть приведенъ въ быстрое вращеніе при помощи рукоятки. При этомъ мѣдный кругъ дѣйствуетъ на магнитную стрѣлку даже въ томъ случаѣ, если между ними находится стеклянная пластинка. Когда мѣдный кругъ вращается достаточно быстро, то въ томъ же направленіи вращается и стрѣлка, но не такъ быстро, какъ мѣдный кругъ. Опытъ можетъ быть произведенъ также и въ обратномъ порядкѣ. Если мѣдный кругъ достаточно легкоподвиженъ, то онъ также приходитъ во вращательное движеніе, когда вращается стрѣлка. Араго, какъ и нѣкоторые другіе, былъ того мнѣнія, что при вращательномъ движеніи въ мѣди возникаетъ магнитизмъ; это явленіе назвали магнитизмомъ вращенія. Фарадэй, напротивъ, предполагалъ, что стрѣлка приводится въ движеніе электрическими токами, возникающими въ мѣдной пластинкѣ. Въ пользу этого допущенія говорило то обстоятельство, что дѣйствіе вращающагося круга замѣтно ослабляется, если въ немъ сдѣлать прорѣзъ по радіусу.

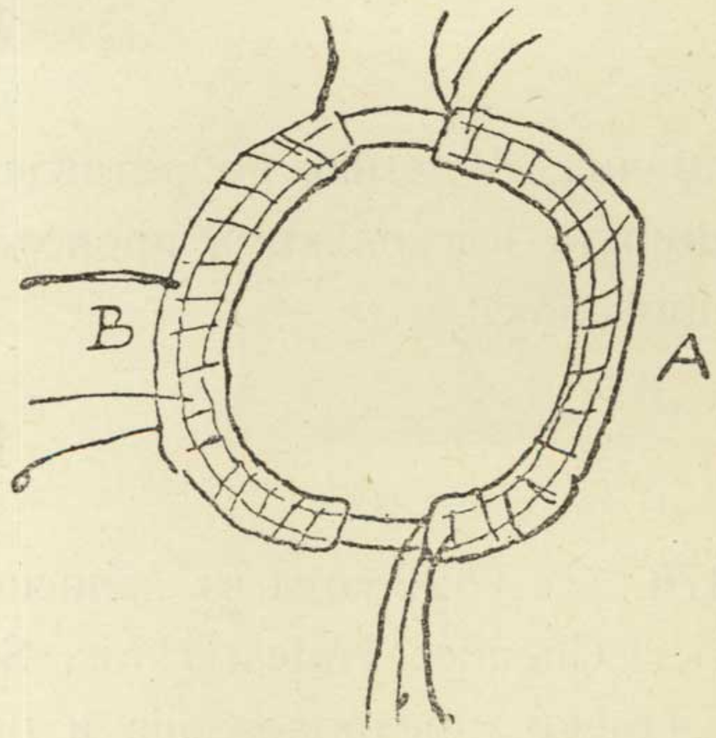
377. Наконецъ, лѣтомъ 1831 года Фарадэю удалось получить электрическій токъ посредствомъ магнитизма. Въ его записной книжкѣ находится прилагаемый рисунокъ (рис. 312) съ слѣдующимъ описаніемъ. „У меня было желѣзное кольцо (изъ

Рис. 311



Приборъ Араго.

Рис. 312



Чертежъ Фарадэя.

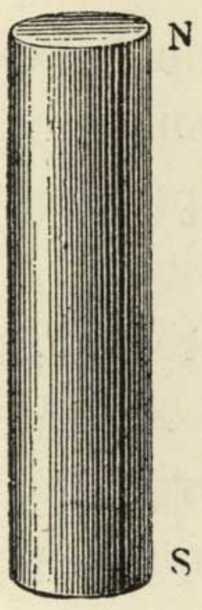
мягкаго желѣза), толщиною въ $^7/_8$ дюйма и съ внѣшнимъ діаметромъ въ 6 дюймовъ. Я обмоталъ мѣдную проволоку много разъ (вокругъ желѣзнаго кольца), причемъ одна половина обмотки была изолирована отъ другой посредствомъ нитокъ и кусочковъ ситца; въ моемъ распоряженіи было три проволоки, каждая длиною въ 24 фута; ихъ можно было связать въ одно или пользоваться каждой въ отдѣльности... Назову одну сторону кольца черезъ *A*. Другая сторона, *B*, была обмотана двумя проволоками, общая длина коихъ равнялась 60 футамъ. Обороты *A* и *B* шли въ одномъ и томъ же направленіи. Я соединилъ проволоки въ одну проволоку и привязалъ ея концы къ мѣдной проволокѣ, проходившей очень близко надъ магнитной стрѣлкой... Затѣмъ я замкнулъ электрическій токъ батареи посредствомъ одной изъ проволокъ *A*. Магнитная стрѣлка мгновенно вышла изъ своего положенія, стала качаться впередъ и назадъ; вскорѣ,

http://mathesis.ru

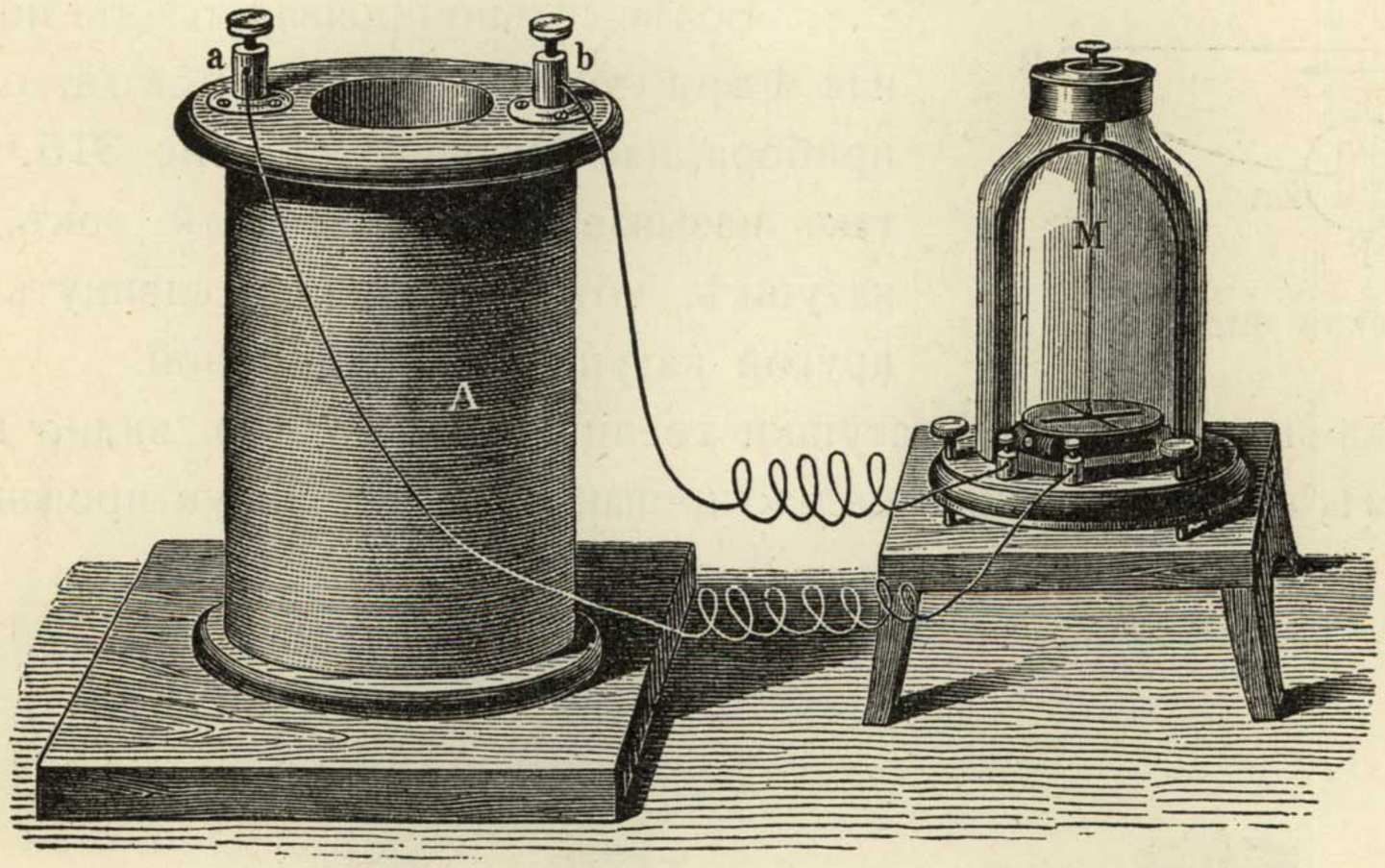
однако, она пришла въ спокойное состояніе, занявъ первоначальное положеніе. Когда я затѣмъ прерывалъ токъ, стрѣлка снова выходила изъ своего положенія".

Такимъ образомъ Фарадэю удалось вызвать („индуктировать") электрическій токъ въ проволокѣ при помощи магнитизма. Именно, когда токъ замыкается посредствомъ одной изъ проволокъ *A*, то желѣзное кольцо намагничивается. Полюсы получаются въ тѣхъ мѣстахъ между *A* и *B*, гдѣ кольцо не обмотано. Возникаетъ магнитное поле, въ которомъ находятся проволоки *B*. Фарадэй наблюдалъ, что всякое измѣненіе въ магнитномъ полѣ всегда вызываетъ электрическій токъ въ проволокѣ *B*, представляющей замкнутый проводъ въ этомъ магнитномъ полѣ. Когда возникало магнитное поле, то въ *B* проходилъ электрическій токъ; но если сила поля оставалась неизмѣнной, то тока не было. Только въ томъ случаѣ, когда токъ прерывался, когда, слѣдовательно, магнитное поле вокругъ *B* испытывало измѣненіе, токъ снова появлялся въ *B*. Но этотъ токъ длился, подобно первому, лишь до тѣхъ поръ, пока длилось измѣненіе магнитнаго поля. Эти токи (мгновенные) въ *B* имѣли противоположное направленіе, смотря по тому, увеличивалась ли или уменьшалась сила магнитнаго поля вокругъ *B*.

Рис. 313



Токъ появлялся, когда возникало магнитное поле или когда оно исчезало, а также



Магнитная индукція.

и тогда, когда его сила увеличивалась или уменьшалась. Этотъ токъ называется индуктивнымъ токомъ, а весь процессъ магнитной индукціей.

Чтобы обнаружить магнитоэлектрическую индукцію, обыкновенно пользуются приборомъ, изображеннымъ на рис. 313. *A* представляетъ деревянную катушку, на которую намотана изолированная мѣдная проволока; концы послѣдней соединены съ мультипликаторомъ *M*. Въ проволочной обмоткѣ индуктируется токъ, когда магнитный стержень *NS* быстро опускается въ катушку. Если, какъ это показано на рисункѣ, магнитъ вдвигается въ катушку южнымъ полюсомъ, то индуктированный токъ

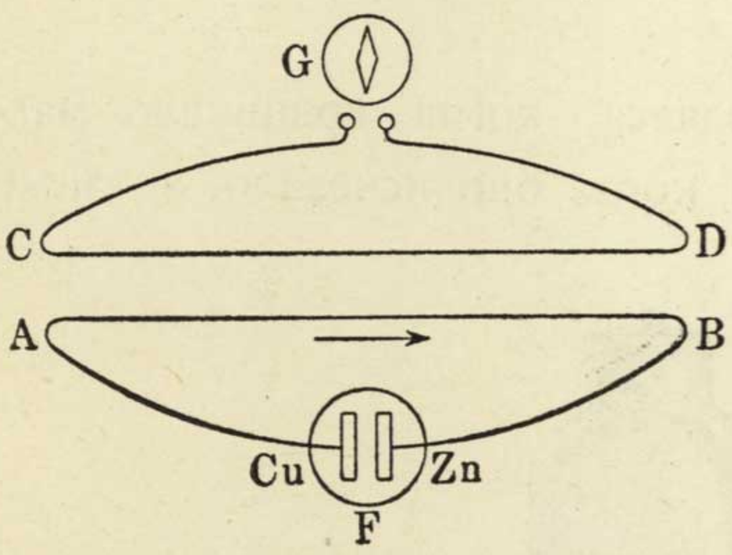
http://mathesis.ru

идетъ по оборотамъ справа налѣво. При вытягиваніи магнита изъ катушки токъ идетъ по оборотамъ въ противоположномъ направленіи. Если южный полюсъ магнита замѣнить сѣвернымъ, то индуктивные токи идутъ въ противоположномъ направленіи какъ при приближеніи, такъ и при удаленіи южнаго полюса.

378. Фарадэй описалъ эти опыты во второй части своего труда, представленнаго Royal Society. Въ первой части этого труда онъ сообщаетъ о своемъ открытіи, что электрическій токъ можетъ вліять индуктирующимъ образомъ на сосѣдній проводникъ.

Токъ элемента F (рис. 314) идетъ по проводу AB. Въ проводъ CD, параллельный AB, включенъ гальванометръ G. При замыканіи цѣпи ABF по AB проходитъ токъ въ направленіи, указанномъ стрѣлкой. Возникаетъ магнитное поле и, такъ какъ въ немъ находится CD, то и въ проводѣ CD появляется токъ. Токъ въ CD имѣетъ, какъ показываетъ гальванометръ, не то же самое направленіе, какъ въ AB, а противоположное. Но токъ, возникающій въ CD, очень непродолжителенъ; это мгновенный токъ. Какъ только токъ въ AB, а слѣдовательно, и магнитное поле вокругъ AB, достигаетъ своей полной силы, что продолжается опредѣленное, хотя и весьма короткое время, то токъ въ CD прекращается. Когда же цѣпь ABF прерывается такъ, что токъ въ AB исчезаетъ, то тогда исчезаетъ и магнитное поле вблизи AB, а въ CD снова индуктируется короткій токъ. Этотъ индуктированный токъ имѣетъ то же самое направленіе, какое имѣлъ исчезнувшій токъ батареи.

Рис. 314

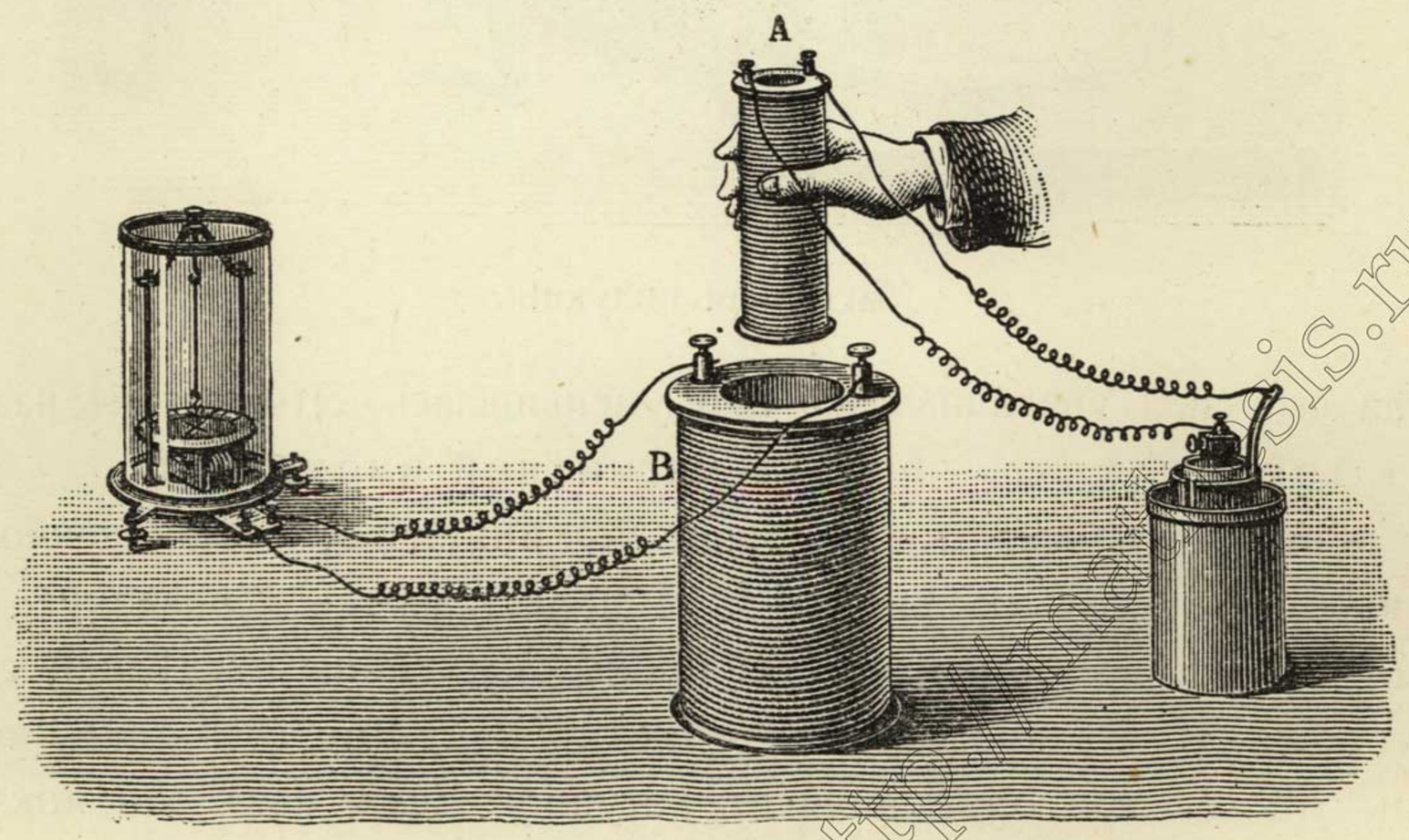


Вольтаическая индукція.

Болѣе сильно проявляется эта индукція, названная Фарадэемъ вольтаической, при примѣненіи прибора, изображеннаго на рис. 315. Токъ элемента, такъ называемый первичный токъ, проходитъ по катушкѣ, которую можно вдвинуть въ отверстіе другой катушки, индукціонной.

Проволока индукціонной катушки соединена, какъ это видно на рисункѣ, съ гальванометромъ, показывающимъ индуктированный токъ. Индуктированный токъ воз-

Рис. 315



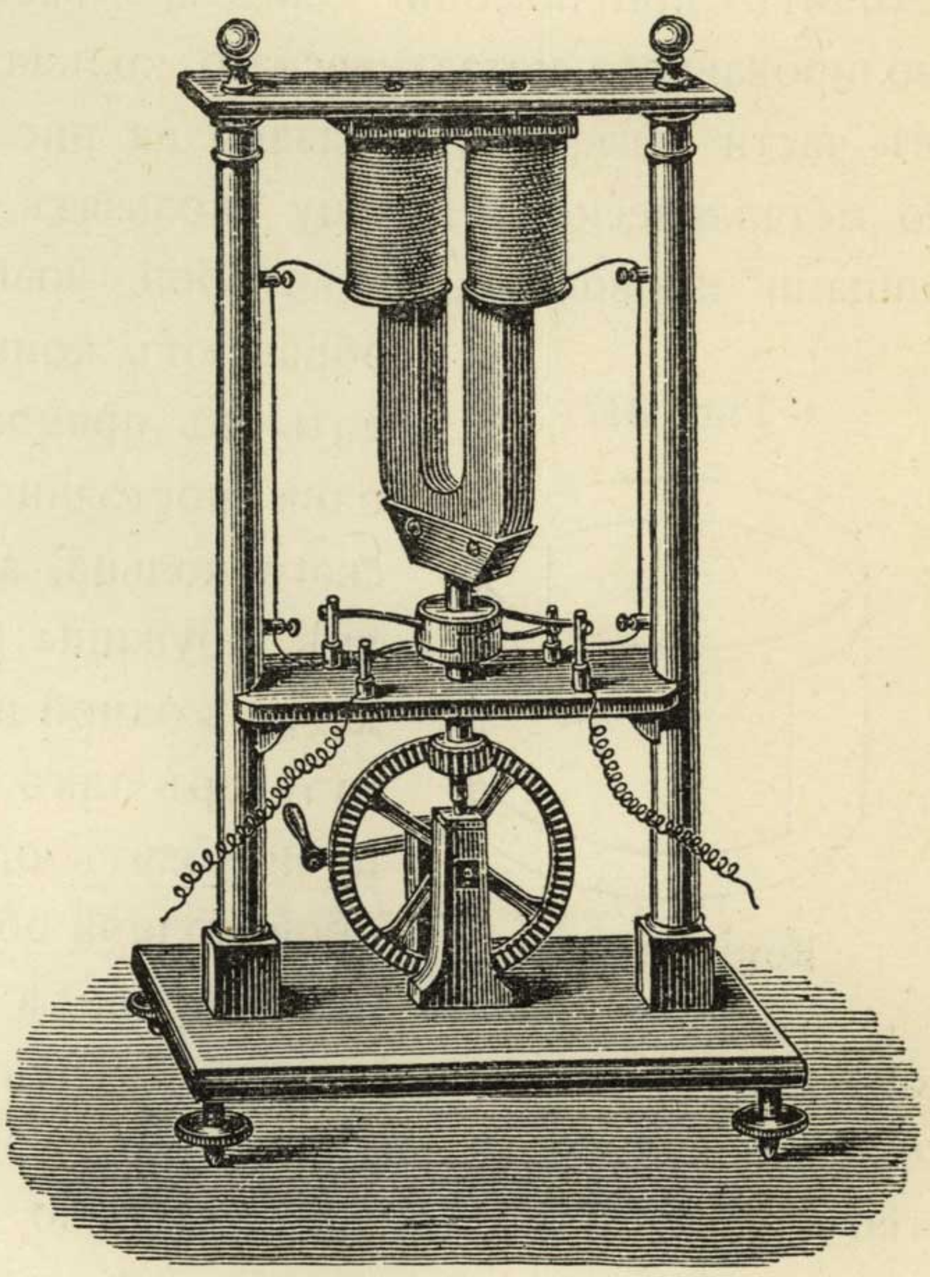
Вольтаическая индукція.

http://mathesis.ru

никаетъ каждый разъ, когда къ индукціонной спирали приближаютъ или когда отъ нея удаляютъ спираль съ главнымъ токомъ, а также и въ томъ случаѣ, если, не мѣняя положенія главной спирали, замыкаютъ и размыкаютъ проводъ съ главнымъ токомъ.

379. Ленцъ въ Петербургѣ (1804—1865) далъ въ 1834 году правило, пользуясь которымъ, можно легко и вѣрно указывать направленіе индуктированнаго тока независимо отъ того, будетъ ли это магнитоэлектрическая индукція или вольтаическая. Законъ Ленца гласитъ, что индуктированный токъ всегда противодѣйствуетъ тому движенію, которое было причиной индукціи. При приближеніи къ катушкѣ, напримѣръ, южнаго полюса магнита (рис. 313), индуктированный токъ долженъ быть такъ направленъ, что въ верхнемъ концѣ катушки образуется южный полюсъ (два южныхъ полюса отталкиваются). Такъ какъ при вольтаической индукціи замыканіе тока оказываетъ такое же дѣйствіе, какъ и приближеніе уже имѣющагося тока, то токъ индуктированный, возникающій при замыканіи главнаго тока, долженъ имѣть противоположное первому направленіе, такъ какъ противоположно направленные токи взаимно отталкиваются. Изъ закона Ленца вытекаетъ также, что для полученія индуктированнаго тока должна быть затрачена работа, потому что во время движенія необходимо преодолѣть сопротивленіе.

Рис. 316



Машина Пиксіи.

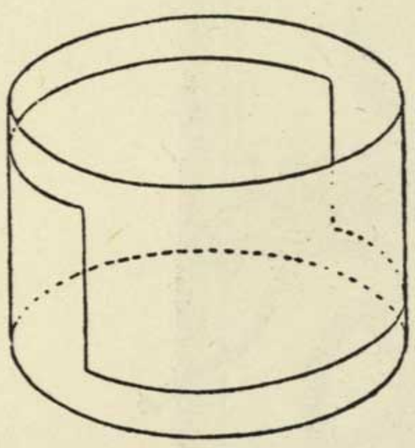
380. Своимъ открытіемъ индуктированныхъ токовъ Фарадэй открылъ новые источники электричества. При электромагнитной индукціи электричество получается посредствомъ механическаго движенія. Въ самомъ дѣлѣ, если приближать магнитъ къ проволочной катушкѣ (рис. 313) или удалять его отъ нея, то возникаютъ индуктированные токи. Правда, они весьма непродолжительны и имѣютъ поперемѣнно противоположныя направленія, но ихъ можно объединить въ одинъ прямой токъ при помощи цѣлесообразнаго механическаго приспособленія. Развитіе этихъ машинъ не можетъ быть здѣсь изложено подробно. Мы отмѣтимъ лишь важнѣйшіе моменты этого развитія.

Уже въ 1832 году, слѣдовательно, незадолго до открытія Фарадэя, Пиксіи въ Парижѣ построилъ магнитоэлектрическую машину (рис. 316). Надъ полюсами подковообразнаго магнита вѣсомъ въ 34 фунта, который могъ вращаться вокругъ оси, находится электромагнитъ съ обмоткой изъ изолированной латунной проволоки. Если привести магнитъ во вращательное движеніе, то мягкое желѣзо подковообразнаго электромагнита становится поперемѣнно то сѣверомагнитнымъ, то южномагнитнымъ; вслѣдствіе этого въ обмоткѣ возникаютъ индуктированные токи, которые послѣ каждаго полуоборота подковообразнаго магнита мѣняютъ свое направленіе. Именно, при приближеніи сѣвернаго полюса магнита къ одной изъ катушекъ въ желѣзномъ

http://mathesis.ru

сердечникѣ послѣдней получается южный полюсъ. Если же затѣмъ къ этой самой катушкѣ приблизится южный полюсъ, то въ нижней части ея сердечника получится сѣверный полюсъ. Такимъ образомъ, токъ получаетъ противоположное направленіе. То же самое происходитъ одновременно и въ другой катушкѣ, съ тою лишь разницей, что здѣсь дѣйствуетъ южный полюсъ подковообразнаго магнита въ то время, когда на первую катушку дѣйствуетъ сѣверный полюсъ. Если поэтому проволока намотана на одинъ сердечникъ въ противоположномъ направленіи сравнительно съ другимъ, то токи, одновременно возбужденные дѣйствіемъ обоихъ полюсовъ, имѣютъ одно и то же направленіе, но весь токъ мѣняетъ направленіе послѣ каждаго полуоборота. Превращеніе перемѣннаго тока въ токъ постояннаго направленія происходитъ при помощи такъ называемаго коммутатора. Коммутаторъ состоитъ изъ изолированнаго металлическаго кольца, насаженнаго на ось; это кольцо разрѣзано на двѣ части такъ, какъ указано на рис. 317; эти части другъ отъ друга изолированы. По металлическому кольцу скользятъ четыре пружины. Изъ нихъ двѣ соединены съ концами проволоки, въ которой возбуждаются индуктированные токи; другія двѣ образуютъ концы провода, въ который всѣ токи должны входить въ прямомъ направленіи. Изъ первыхъ двухъ пружинъ одна постоянно скользитъ по верхней половинѣ металлическаго кольца, а другая по нижней, между тѣмъ какъ другія двѣ пружины (среднія) послѣ каждаго полуоборота переходятъ съ одной половины металлическаго кольца на другую. Коммутаторъ такъ укрѣпленъ на оси, что это чередованіе всегда происходитъ одновременно съ перемѣной направленія тока въ проволочной обмоткѣ. Вслѣдствіе этого токи имѣютъ во внѣшнемъ проводѣ одно и то же направленіе, но сила общаго тока непрерывно измѣняется. Этотъ недостатокъ присущъ и машинѣ Кларка, въ которой вращается не подковообразный магнитъ, а проволочныя катушки. Общество „Alliance“ въ Парижѣ строило большія магнитоэлектрическія машины, въ которыхъ большое количество катушекъ (до 100), укрѣпленныхъ на вращающемся дискѣ, пробѣгаетъ вблизи значительнаго числа магнитныхъ полюсовъ.

Рис. 317



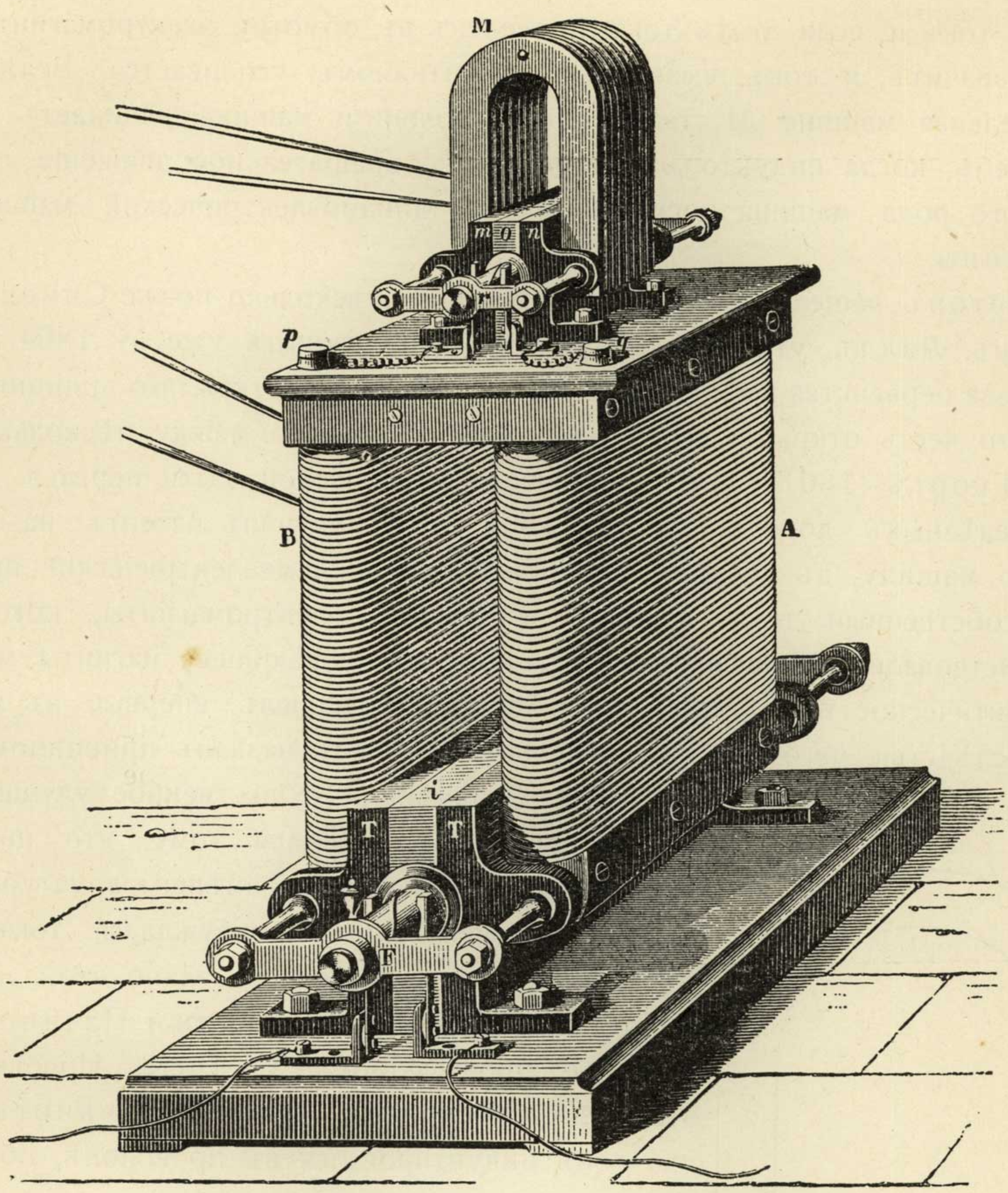
Коммутаторъ.

381. Слѣдующій шагъ впередъ состоялъ въ томъ, что постоянные магниты были замѣнены электромагнитами, при помощи которыхъ можно было получать гораздо больше магнитизма. Машина Вильде (рис. 318) имѣетъ такой электромагнитъ (*A* и *B*). Токъ, который возбуждаетъ магнитизмъ въ этомъ электромагнитѣ, получается отъ маленькой магнитоэлектрической машины *M*. Катушка, въ которой долженъ быть индуктированъ токъ, вращается въ этой машинѣ не передъ полюсами электромагнита, а между ними. Обмотка идетъ вдоль желѣзнаго стержня, представляющаго ось вращенія; поперечное сѣченіе его видно (*g*, *f*) изъ рисунка 319 (цилиндрическій индукторъ Сименса). Устройство выпрямителя тока у этихъ машинъ можно видѣть на рис. 320. Два конца проволоки соединены съ обѣими половинами металлическаго кольца, изолированно насаженнаго на ось. При помощи двухъ пружинъ, скользящихъ по кольцу, токъ, несмотря на перемѣнное направленіе, можетъ отводиться съ оси въ одномъ направленіи; именно, во время одного полуоборота токъ идетъ по одной половинѣ кольца, которая во время этого полуоборота касается пружины *l*,

http://mathesis.ru

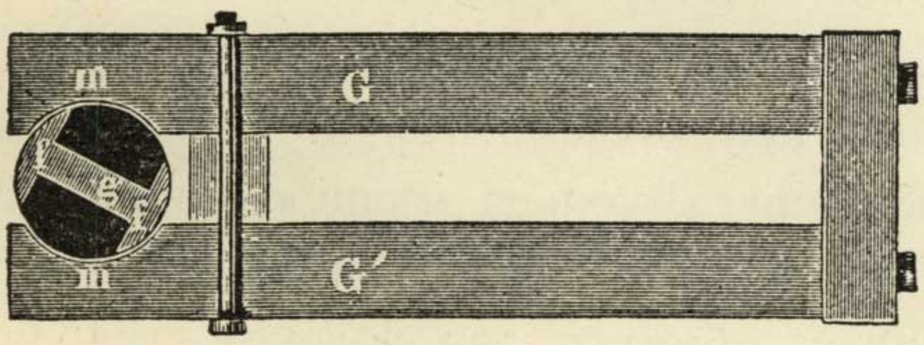
въ теченіе же ближайшаго полуоборота токъ идетъ въ другую половину кольца, которая теперь соприкасается съ l'.

Рис. 318



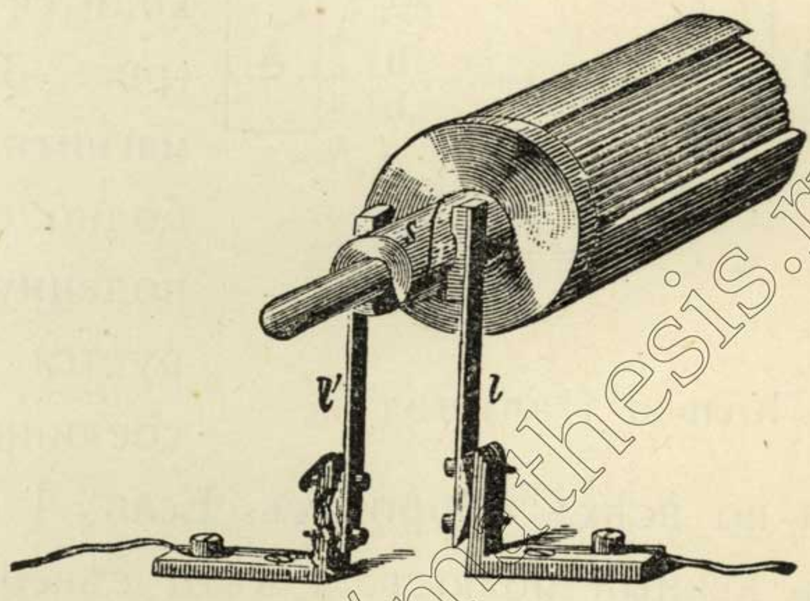
Магнитоэлектрическая машина Вильде.

Рис. 319



Цилиндрическій индукторъ Сименса.

Рис 320



Выпрямитель тока.

Вернеръ фонъ-Сименсъ (1816—1892) подвинулъ дѣло значительно дальше установленіемъ въ 1866 году такъ называемаго электродинамическаго принципа. Желѣзо, которое однажды было намагничено, постоянно сохраняетъ слѣды магнитизма и этого остаточнаго магнитизма достаточно

http://mathesis.ru

для полученія настолько сильнаго магнитнаго поля, чтобы возбудить токъ въ проволокѣ, движущейся въ этомъ полѣ. Такимъ образомъ, если электромагнитъ AB (рис. 318) былъ однажды намагниченъ, то онъ можетъ возбудить въ обмоткѣ индуктора токъ и, если этотъ токъ проведенъ въ обмотку электромагнита, то магнитизмъ, а, значитъ, и токъ, вызванный магнитизмомъ, усиливается. Вслѣдствіе этого вспомогательная машина M становится излишней и машина начинаетъ дѣйствовать сама по себѣ, когда индукторъ приводится во вращательное движеніе.

Такого рода машина носитъ названіе динамоэлектрической машины или динамомашины.

Витстонъ нашелъ этотъ самый принципъ нѣсколько позже Сименса, а другой англичанинъ, Ладдъ, утверждалъ, что онъ его открылъ уже въ 1864 году. Этотъ споръ изъ-за первенства имѣетъ мало значенія. Значеніе открытаго принципа было такъ велико, что честь открытія его можетъ быть раздѣлена между нѣсколькими лицами. Зёренъ Гьортъ (1801—1870), директоръ технической части перваго датскаго общества желѣзныхъ дорогъ, уже въ 1854 году получилъ патентъ на магнитоэлектрическую машину, въ которой онъ примѣнилъ динамоэлектрическій принципъ, заставляя собственный токъ машины возбуждать электромагниты, которые затѣмъ снова дѣйствовали усиливающимъ образомъ на вращающіеся магниты машины. Однако, практическое примѣненіе этотъ принципъ нашелъ впервые въ машинѣ Сименса, вслѣдствіе чего онъ по справедливости былъ названъ принципомъ Сименса.

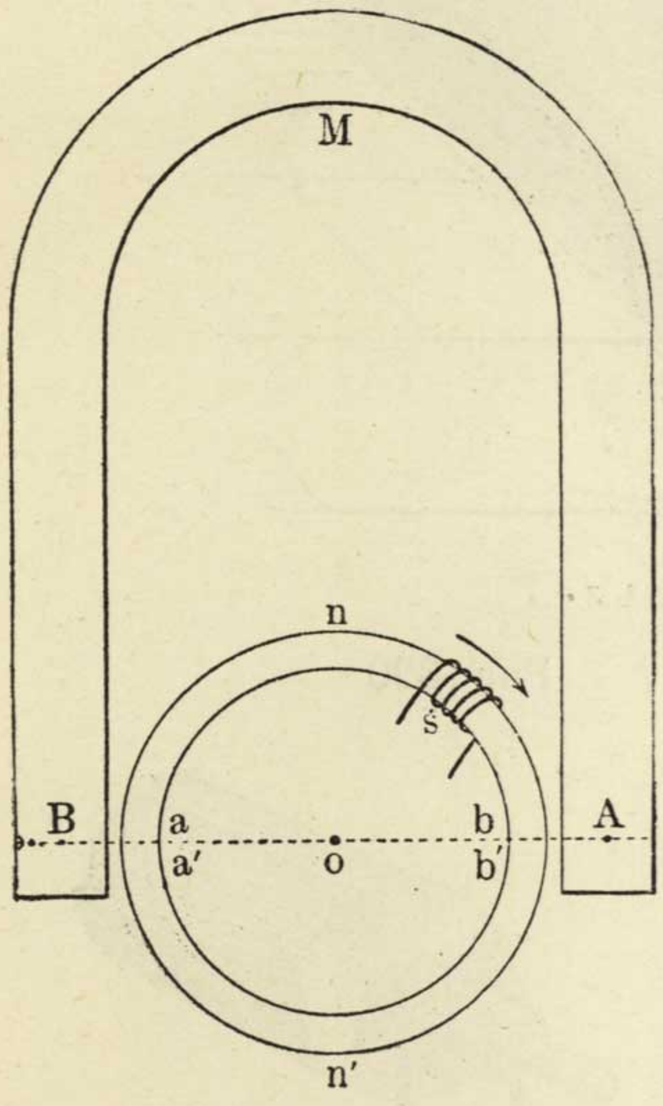


Рис. 321

Кольцо Пачинотти.

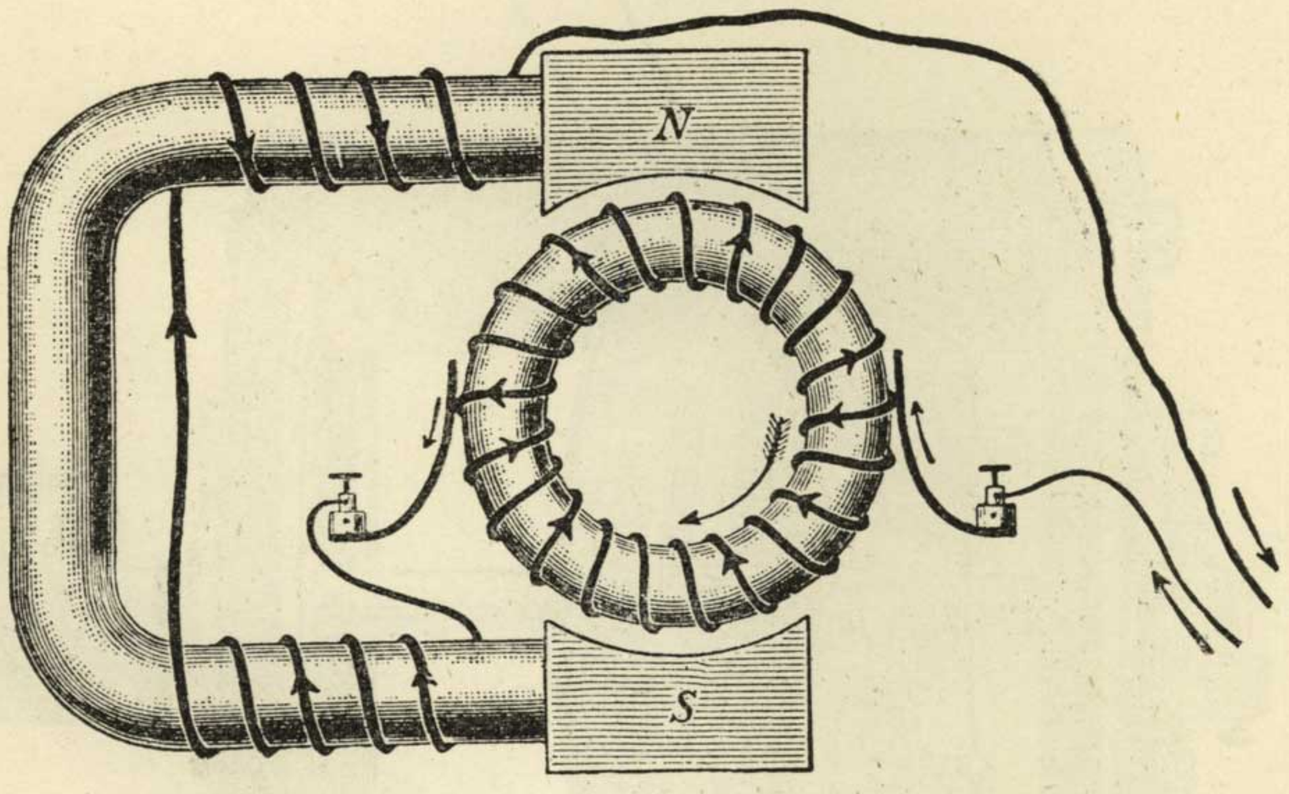
382. Дальнѣйшее существенное улучшеніе динамомашина получила благодаря тому, что цилиндрическій индукторъ Сименса былъ замѣненъ арматурой (якоремъ), въ которой непрерывно возбуждался токъ постоянной силы. Первое указаніе относительно этой части машины было дано въ 1860 году Луиджи Пачинотти (1807—1889), профессоромъ въ Пизѣ. Нововведеніемъ въ этомъ приспособленіи, кольцѣ Пачинотти, было то, что токъ индуктировался въ проволокѣ, обмотанной вокругъ желѣзнаго кольца, вращающагося между полюсами магнита.

Представимъ себѣ прежде всего, что кольцо находится въ покоѣ между полюсами магнита A и B (рис. 321). Въ такомъ случаѣ въ кольцѣ получаются магнитные полюсы при точкахъ a и b. Если теперь свободно обмотать вокругъ кольца мѣдную проволоку s и подвинуть ее отъ n до b, то въ проволокѣ индуктируется токъ. Если обмотать проволокой все кольцо, соединивъ ея концы, то при сдвиганіи ея возбудится токъ во всѣхъ оборотахъ. Если A есть сѣверный полюсъ, а B южный, то въ b будетъ южный полюсъ, а въ a сѣверный. Въ такомъ случаѣ во всѣхъ оборотахъ, которые подвинутся отъ n черезъ b къ n', индуктируется токъ того же самаго направленія. Этотъ токъ будетъ идти по оборотамъ отъ n до n'. Наоборотъ, въ тѣхъ оборотахъ, которые будутъ сдвинуты отъ n' черезъ a къ n, токъ будетъ идти въ противоположномъ направленіи, т. е. отъ n къ n'. Слѣдовательно, въ точкѣ n'

http://mathesis.ru

будетъ постоянно положительное напряженіе, а въ *n* отрицательное. Такимъ образомъ, если *n'* и *n* будутъ соединены проводникомъ внѣ машины, то въ проводникѣ будетъ идти постоянный токъ, такъ какъ, если обмотка будетъ сдвигаться съ равномѣрной скоростью, то и сила тока будетъ всегда одна и та же; но равномѣрное сдвиганіе проволоки практически неосуществимо. Однако, то же самое дѣйствіе можетъ быть достигнуто, если проволоку плотно обмотать вокругъ кольца изъ мягкаго желѣза и

Рис. 322

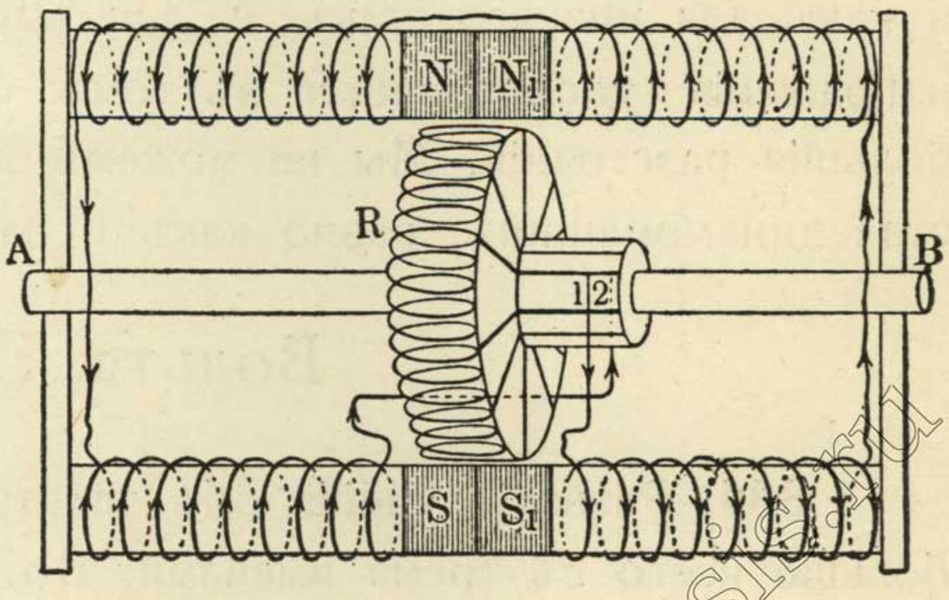


Устройство (схематическое) машины Грамма.

вращать это кольцо вмѣстѣ съ обмоткой между полюсами магнита. Въ такомъ случаѣ неподвижные полюсы *A* и *B* вызываютъ постоянно въ тѣхъ мѣстахъ желѣзнаго кольца, которыя проходятъ мимо полюсовъ, противоположные магнитные полюсы, вслѣдствіе чего обороты непрерывно проходятъ черезъ оба магнитныхъ поля.

383. Кольцо Пачинотти было приспособлено къ динамомашинамъ бельгійцемъ Зенобомъ Граммомъ (1826—1901). Граммъ былъ сначала столяромъ-модельщикомъ у Общества Alliance въ Парижѣ. Онъ былъ занятъ конструкціей новой динамомашины и, не зная о работѣ Пачинотти, самостоятельно изобрѣлъ это кольцо. Рис. 322 схематически показываетъ устройство машины Грамма, въ которой примѣненъ динамоэлектрическій принципъ. Кольцо можно также вращать не только между двумя полюсами, но и между бо́льшимъ числомъ ихъ, но въ этомъ случаѣ „отведеніе тока“ становится болѣе сложнымъ. При этомъ требуется больше двухъ пружинъ.

Рис. 323



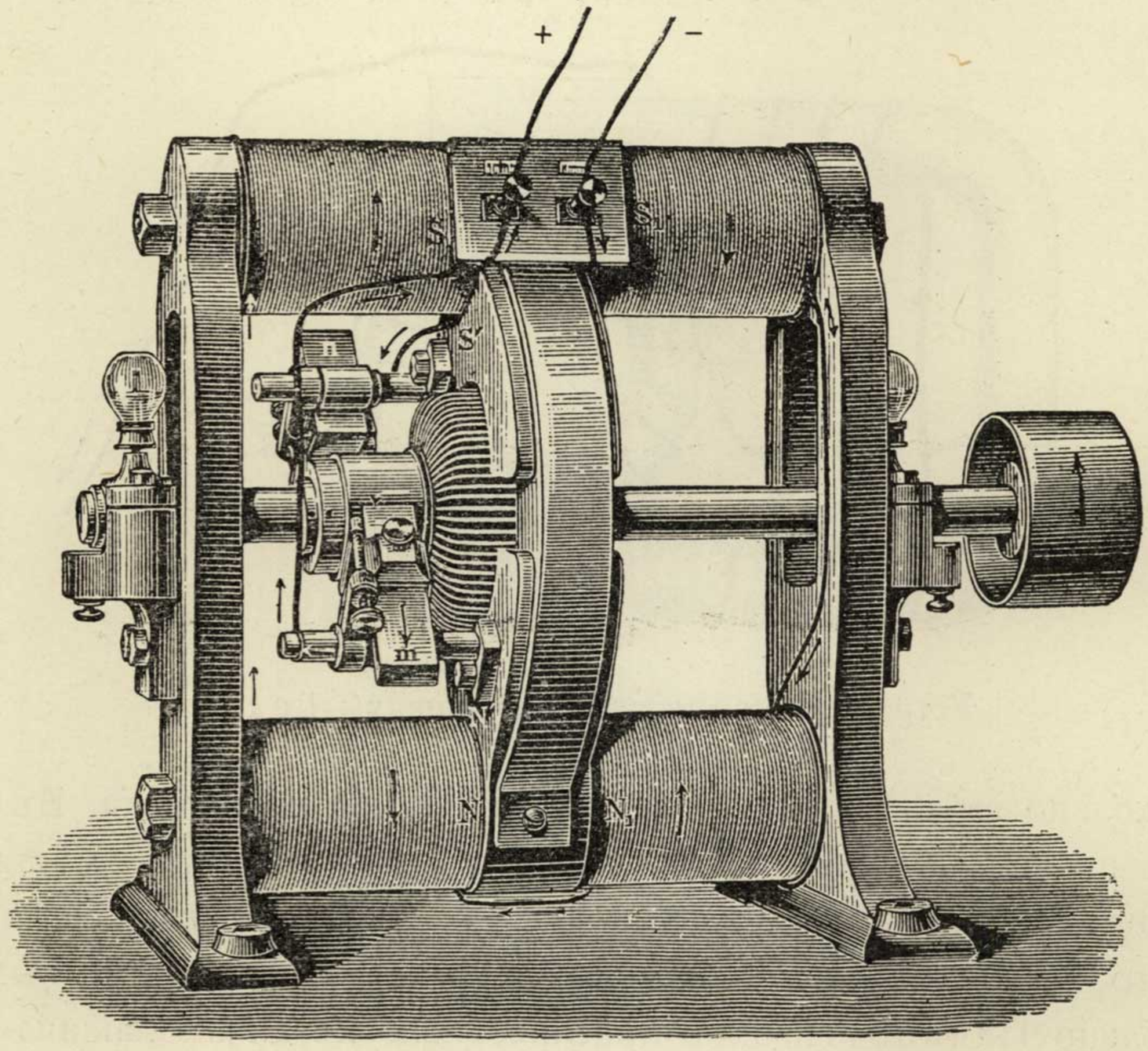
Обмотка динамомашины.

На рисункѣ 323 видно, какъ осуществляется отведеніе тока. Два стержня изъ мягкаго желѣза обмотаны изолированной мѣдной проволокой, такъ что въ серединѣ стержней получаются магнитные полюсы, когда по проволокѣ проходитъ токъ. Обмотка кольца также состоитъ изъ изолированной мѣдной проволоки. Черезъ опредѣленные промежутки отъ проволоки кольца отведены мѣдныя пластинки къ оси, изогнутыя по направленію оси, но изолированныя отъ нея. Вокругъ оси лежитъ

http://mathesis.ru

кольцо изъ изолирующей массы (эбонита) и въ ней помѣщаются мѣдныя пластинки съ обнаженными поверхностями, не касающіяся другъ друга. Пружины или, какъ ихъ обыкновенно называютъ, щетки, имѣющія своимъ назначеніемъ отводить токъ съ кольца, установлены такъ, что скользятъ по мѣднымъ пластинкамъ (рис. 323, 1 и 2). Рисунокъ 324 представляетъ изображеніе той же машины въ перспективѣ.

Рис. 324



Машина Грамма.

Динамомашины строятся какъ для постояннаго, такъ и для перемѣннаго тока и какъ для низкаго, такъ и для высокаго напряженія. Перемѣнный токъ высокаго напряженія употребляется въ томъ случаѣ, когда приходится проводить токъ на большія разстоянія. Мы не можемъ подробнѣе останавливаться на деталяхъ устройства динамомашинъ, равно какъ и на высоко развитой теоріи ихъ.

Вольта. Эрстедъ. Фарадэй

384. Развитіе ученія объ электричествѣ въ теченіе XIX столѣтія тѣсно связано больше всего съ тремя именами: Вольты, Эрстеда и Фарадэя.

Вольтово электричество при соприкосновеніи, электромагнитизмъ Эрстеда и индуктивное электричество Фарадэя—вотъ краеугольные камни, на которыхъ покоится гордое зданіе ученія объ электричествѣ. Большое количество деталей и болѣе значительныя части этого зданія свидѣтельствуютъ о томъ, что въ его сооруженіи участвовало множество геніальныхъ мастеровъ, но всѣ они строили на фундаментѣ, который образованъ упомянутыми тремя краеугольными камнями. Четвертымъ краеугольнымъ камнемъ можно считать химическое дѣйствіе тока, но оно органически примыкаетъ къ гальваническому элементу Вольты.

http://mathesis.ru

Вольта (§ 298) переселился въ 1779 году изъ Комо въ Павію, гдѣ закончилъ свои фундаментальныя работы, доставившія ему всемірную извѣстность. Въ противоположность Гальвани, Вольта выдвинулся впередъ благодаря Наполеону. Первый былъ лишенъ своего званія, второй же, не отказавшійся принести должностную присягу, былъ приглашенъ въ Парижъ для чтенія лекцій въ Академіи Наукъ о своихъ открытіяхъ. Наполеонъ возвелъ его въ графское достоинство. Въ 1804 году

Рис. 325



Алессандро Вольта.

онъ оставилъ свою профессуру, но былъ приглашенъ австрійскимъ императоромъ занять постъ директора философскаго факультета въ Падуѣ. Свои послѣдніе годы онъ провелъ въ родномъ городѣ Комо, гдѣ и умеръ въ 1827 году, 82 лѣтъ отъ роду.

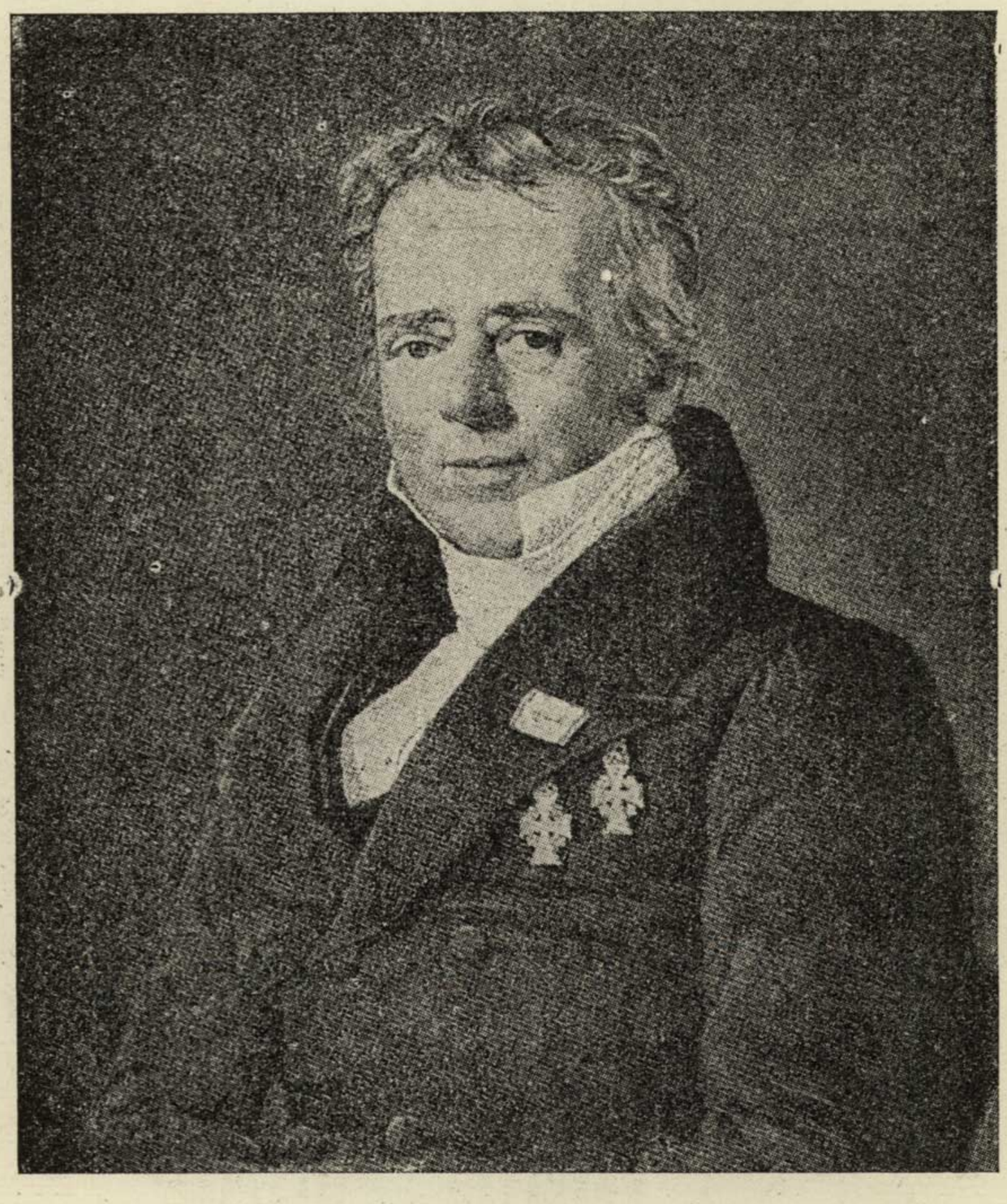
385. Гансъ Христіанъ Эрстедъ родился въ 1777 году въ Рудкёбингѣ на Лангеландѣ, гдѣ его отецъ былъ аптекаремъ. Вмѣстѣ со своимъ младшимъ братомъ, Андерсомъ Сандё, онъ дома подготовлялся въ университетъ, въ который они оба поступили въ 1794 году. Гансъ Христіанъ изучалъ физику, химію и математику, братъ его юриспруденцію и философію. Они сообща изучали Канта и

http://mathesis.ru

Фихте, а впослѣдствіи Шеллинга. Благодаря тому, что они обыкновенно дѣлились главными впечатлѣніями, выносимыми ими изъ своихъ спеціальныхъ занятій, они оба получили обширное и многостороннее образованіе.

Относительно Ганса Христіана Эрстеда слѣдуетъ отмѣтить, что онъ въ томъ же году (1797), въ которомъ сдалъ кандидатскій экзаменъ, какъ фармацевтъ, отвѣтилъ на предложенный университетомъ вопросъ изъ области эстетики. Вопросъ заключался въ слѣдующемъ: „Въ какой мѣрѣ портится прозаическій языкъ отъ сближенія съ поэтическимъ и гдѣ границы между поэтическимъ и прозаическимъ способомъ выраженія?“ Несмотря на усиленныя занятія естественными науками, онъ нашелъ время разработать отвѣтъ на этотъ вопросъ. Даже въ годы наиболѣе напряженной научной дѣятельности для него было обычнымъ дѣломъ принимать живое участіе въ умственной жизни даже въ областяхъ, лежавшихъ внѣ предѣловъ его спеціальности. Въ 1798 году онъ представилъ работу на тему, предложенную медицинскимъ факультетомъ на премію, и въ 1799 году получилъ степень доктора.

Рис. 326



Г. Х. Эрстедъ.

Лѣтомъ 1801 года Эрстедъ отправился въ заграничное путешествіе на три года. Онъ проѣхалъ черезъ Германію въ Парижъ и вернулся домой черезъ Бельгію и Голландію. Во время этого путешествія онъ завязалъ личное знакомство съ самыми выдающимися учеными указанныхъ странъ; въ это же время у него назрѣло рѣшеніе найти путь, который подвинулъ бы впередъ изученіе естественныхъ наукъ, въ особенности физики, въ то время сильно нуждавшейся въ этомъ.

http://natlesi.ru

По возвращеніи на родину онъ читалъ въ Копенгагенѣ публичныя лекціи, которыя сильно, по тогдашнему времени, посѣщались. Въ 1806 году, когда Эрстедъ сдѣлался профессоромъ физики въ университетѣ, онъ писалъ своему другу Эленшлэгеру: „Мои лекціи зимою усиленно посѣщались. Въ началѣ у меня было свыше 60 слушателей, а четыре мѣсяца спустя ихъ было все еще свыше 40. Платили бы они только лучше. Эти лекціи посѣщались мужчинами и дамами, но послѣднихъ было только пять".

Благодаря своимъ занятіямъ и путешествіямъ Эрстедъ приходилъ въ соприкосновеніе съ романтиками и натурфилософами, къ воззрѣніямъ которыхъ онъ примкнулъ; но онъ былъ самостоятельнымъ ученикомъ Канта и, какъ естествоиспытатель, былъ болѣе трезвымъ, чѣмъ большинство учениковъ Шеллинга. Характернымъ для него является выраженіе, что Ньютонъ и Кантъ — это два полюса, вокругъ которыхъ вращается новѣйшее изслѣдованіе природы. Въ 1812 и 1813 годахъ онъ предпринялъ второе путешествіе заграницу. Во время этого путешествія онъ написалъ въ Берлинѣ упомянутую въ § 360 небольшую статью о взаимной связи силъ природы.

Впослѣдствіи онъ выработалъ свое міровоззрѣніе болѣе точно и при этомъ всецѣло примкнулъ къ Канту, принимавшему, что вещественная природа есть лишь проявленіе силъ, наполняющихъ пространство, которыя въ свою очередь могутъ быть сведены къ двумъ основнымъ силамъ. По мнѣнію Эрстеда, эти силы проявляются наиболѣе чисто и наиболѣе свободно въ положительномъ и отрицательномъ электричествѣ. Каждая изъ этихъ двухъ силъ является сама по себѣ расширительной или отталкивательной, обѣ же вмѣстѣ, находясь одна вблизи другой, дѣйствуютъ напротивъ, притягательнымъ образомъ. Въ соотвѣтствіи съ этимъ Эрстедъ называлъ ученіе объ электричествѣ динамикой (ученіе о силахъ) въ болѣе высокомъ смыслѣ. Въ этой области у него была иная основная точка зрѣнія, чѣмъ у Шеллинга. Послѣдній также говорилъ о двухъ основныхъ силахъ, но онъ принималъ, что одна основная сила имѣетъ характеръ расширительный, а другая притягательны.

Свою теорію о двухъ противоположныхъ основныхъ силахъ Эрстедъ примѣнилъ къ химіи. Основныя вещества, являющіяся представителями противоположныхъ силъ, взаимно притягиваются и стремятся къ химическому соединенію. Основанія суть носители положительной силы, а кислоты отрицательной. При соединеніи основныхъ веществъ противоположной природы, т. е. основаній съ кислотами, возникаетъ явленіе огня или теплоты, какъ выраженіе для дѣйствія, имѣющаго мѣсто при соединеніи.

Отсюда вытекаетъ, что Эрстедъ, подобно Дэви и Берцеліусу (ср. § 351), самостоятельно искалъ и нашелъ обобщающее представленіе о явленіяхъ природы.

О его открытіи электромагнитизма было подробно изложено раньше. Эрстедъ былъ, конечно, членомъ самыхъ выдающихся ученыхъ обществъ всего міра. Его послѣднее путешествіе заграницу, предпринятое имъ въ 1846 году, было, какъ пишетъ сопровождавшій его Форхгаммеръ, настоящимъ тріумфальнымъ шествіемъ. Повсюду къ нему являлись ученые и государственные люди. На съѣздѣ естествоиспытателей въ Сётгамптонѣ, гдѣ онъ присутствовалъ, Джонъ Гершель между прочимъ сказалъ: „Я знаю въ наукѣ лишь одно направленіе, которое могла бы принять магнитная

http://mathesis.ru

стрѣлка, еслибы она обратилась къ материку Европы, именно въ сторону моего друга, профессора Эрстеда".

Независимо отъ своихъ научныхъ трудовъ Эрстедъ очень много работалъ надъ тѣмъ, чтобы подвинуть впередъ въ университетѣ изученіе физики и вообще изученіе естественныхъ наукъ. Онъ былъ убѣжденъ въ томъ, что наука о природѣ „болѣе доступна занимающемуся ремесломъ, чѣмъ другія науки; своей матеріальной стороной она для него осязаема, своимъ же духовнымъ содержаніемъ она его поднимаетъ и даетъ ему болѣе высокое образованіе".

Въ 1823 году Эрстедъ основалъ общество для распространенія естествознанія, существующее еще и понынѣ и имѣющее цѣлью „Распространеніе среди гражданъ всѣхъ состояній свѣдѣнія изъ области опытнаго естествознанія". По его настоянію былъ учрежденъ въ Копенгагенѣ въ 1829 году Политехническій институтъ. — Самъ Эрстедъ началъ читать въ Копенгагенѣ популярныя лекціи по естествовѣдѣнію и его примѣръ вскорѣ нашелъ подражаніе въ болѣе мелкихъ городахъ страны. Здѣсь мы видимъ впервые зародыши промышленныхъ союзовъ въ Копенгагенѣ, а также техническихъ обществъ и школъ, существующихъ въ настоящее время во всѣхъ городахъ страны и оказавшихъ большое вліяніе на развитіе ремеслъ и промышленности.

Съ обширнымъ общимъ образованіемъ, интересующійся разными сторонами духовной жизни, науки, поэзіи, искусства и народнаго просвѣщенія, Эрстедъ занялъ выдающееся положеніе въ обществѣ. Онъ сумѣлъ убѣдить его, что каждый можетъ извлечь пользу изъ изученія природы для выработки своего міросозерцанія. Его представленіе о связи между различными областями духовной жизни, равно какъ и о связи во всей природѣ, представляющей полную гармонію, передалось его слушателямъ, чѣмъ онъ и прямо и косвенно содѣйствовалъ тому, что духовная жизнь въ Даніи получила отпечатокъ самобытности и національности. Вмѣстѣ со своимъ братомъ, который сталъ однимъ изъ выдающихся правовѣдовъ Даніи и который оказалъ большое вліяніе на внутреннее политическое устройство своей родины, Эрстедъ служилъ однимъ изъ центровъ, откуда духовная жизнь Даніи получала рѣшительные и направляющіе импульсы. Когда онъ умеръ въ 1851 году, вся страна почувствовала, что не стало поистинѣ великаго человѣка.

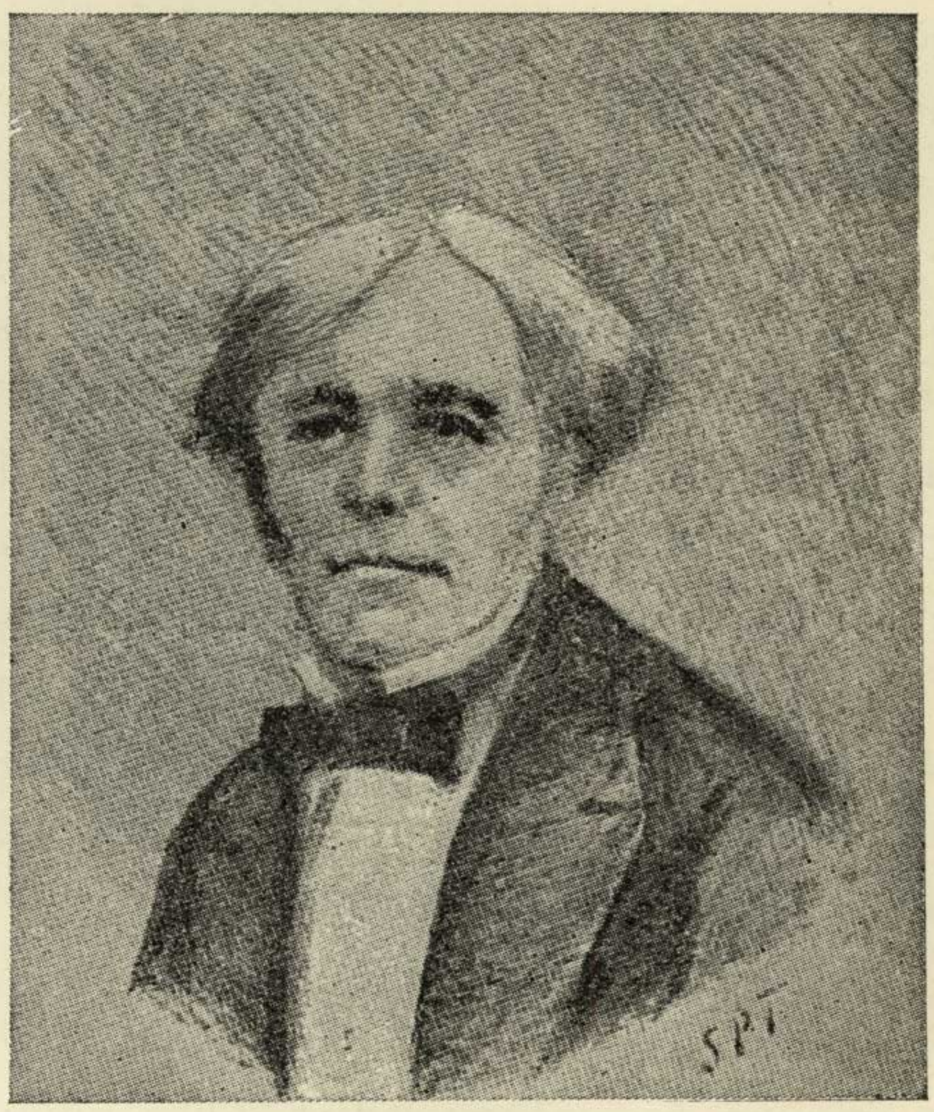
386. Майкель Фарадэй, третій изъ великихъ электриковъ, получилъ свое образованіе инымъ путемъ, чѣмъ Эрстедъ и Вольта, которые принадлежали къ состоятельнымъ семьямъ и получили систематическое университетское образованіе въ кругу сверстниковъ-друзей. Отецъ Фарадэя былъ простымъ бѣднымъ кузнецомъ, который переселился изъ деревни въ одно изъ предмѣстій Лондона. Мать его, дочь крестьянина, была доброй матерью и толковой хозяйкой, но не получила высшаго образованія. Получивъ довольно скудное образованіе въ школѣ, сынъ въ 1804 году, 13-ти лѣтъ отъ роду, поступилъ разсыльнымъ къ книгопродавцу и переплетчику Рибо, а черезъ годъ сталъ его ученикомъ. Здѣсь онъ получилъ возможность читать, и вскорѣ сталъ углубляться въ чтеніе книгъ по естественнымъ наукамъ. Зимою 1810—1811 года онъ прослушалъ двѣнадцать лекцій по естествовѣдѣнію нѣкоего Татума, а весною 1812 года получилъ возможность посѣщать лекціи Дэви въ Royal Institution. Онъ записалъ эти лекціи и снабдилъ ихъ прекрасными рисунками. Вскорѣ онъ почувствовалъ желаніе оставить свое тогдашнее занятіе, мало его

http://mathesis.ru

удовлетворявшее, и попытаться поступить въ Royal Institution въ качествѣ препаратора. Осенью 1812 года онъ написалъ Дэви. Послѣдній отвѣтилъ ему подружески, но совѣтовалъ пока не бросать переплетнаго дѣла. Молодой человѣкъ однако произвелъ на Дэви благопріятное впечатлѣніе и весною 1813 года Дэви назначилъ его своимъ ассистентомъ. Въ качествѣ ассистента онъ долженъ былъ приготовлять опыты для лекцій и убирать приборы послѣ нихъ; вскорѣ, однако, его главной обязанностью стала помощь Дэви въ его научныхъ изслѣдованіяхъ.

Осенью 1813 года Фарадэй сопровождалъ Дэви въ его путешествіи во Францію и Италію и несмотря на свою скромность онъ не остался незамѣченнымъ вблизи своего знаменитаго учителя. Позднѣе Дюма писалъ: „Дэви насъ удивлялъ, Фарадэя же мы любили“. Во время этого путешествія онъ быстро подвинулся впередъ въ своемъ развитіи; онъ увидѣлъ большой свѣтъ и познакомился съ великими учеными, напримѣръ, съ Вольтой въ Миланѣ. Это путешествіе расширило его кругозоръ и предохранило его отъ опасности стать одностороннимъ узкимъ спеціалистомъ. Завязавъ во время этого путешествія связи съ выдающимися учеными, Фарадэй познакомился съ настоящими изслѣдованіями и съ истинной ученостью, которыя никогда не замыкаются въ остывшія неподвижныя формы. Во время этого путешествія Фарадэй безъ сомнѣнія изощрилъ свой умъ въ умѣньи находить ясную и изящную форму въ своей рѣчи и въ письмѣ. Вмѣстѣ съ тѣмъ въ немъ развилось при этомъ умѣніе поддерживать общеніе съ образованными людьми.

Рис. 327



Майкель Фарадэй.

По возвращеніи Фарадэй продолжалъ свои работы въ Royal Institution и вскорѣ сдѣлался великолѣпнымъ экспериментаторомъ и превосходнымъ лекторомъ. Онъ читалъ лекціи въ кругу сверстниковъ, объединившихся въ „философское общество“. Въ 1824 году онъ сталъ членомъ Royal Society, а въ 1825 году директоромъ Royal Institution. Эту должность онъ занималъ до 1865 года.

Сила Фарадэя, какъ изслѣдователя, заключалась въ его стремленіи къ ясности. Онъ постоянно стремился дойти до самаго корня вопроса и всегда заботился о пріисканіи подходящихъ терминовъ для новыхъ понятій, причемъ нерѣдко обращался за совѣтами къ знакомымъ лингвистамъ. Такъ были ему, напримѣръ, предложены Вьюэллемъ вышеупомянутыя обозначенія анода, катода и т. д. (§ 352).

Фарадэй совершилъ колоссальную работу. Тайна его изумительной продук-

http://mathesis.ru

тивности заключалась, выражаясь его собственными словами, въ томъ, что онъ работалъ, заканчивалъ и печаталъ. Причина того, что нѣкоторые дѣятельные ученые успѣли сдѣлать такъ мало, заключается именно въ томъ, что они не умѣли заканчивать.

Изслѣдованія Фарадэя относились главнымъ образомъ къ магнитнымъ, электрическимъ и химическимъ явленіямъ. Большое значеніе имѣлъ его взглядъ на дѣйствіе силъ на разстояніи. Онъ показалъ (§ 295), что электрическая сила, распространяясь въ дурномъ проводникѣ, производитъ въ немъ молекулярное измѣненіе,—другими словами, что дѣйствіе на разстояніи есть только кажущееся. Въ дѣйствительности дѣйствіе на разстояніе передается отъ молекулы къ молекулѣ. Въ своихъ работахъ Фарадэй никогда не пользовался математикой, вѣроятно, потому, что онъ не владѣлъ ею въ достаточной степени. Но впослѣдствіи его землякъ, Джемсъ Кларкъ Максвелль (1831—1879), профессоръ математической физики въ Кэмбриджскомъ университетѣ, перевелъ воззрѣнія Фарадэя на математическій языкъ. Путемъ математическихъ изслѣдованій онъ показалъ, что силы, дѣйствующія на разстояніи и обратно пропорціональныя квадрату разстоянія, могутъ быть объяснены при помощи напряженій въ „средѣ“, которая отдѣляетъ тѣла, дѣйствующія другъ на друга.

Что касается электричества, то опытомъ Дютера было, между прочимъ, доказано (§ 295), что изоляторы приходятъ въ своеобразное молекулярное состояніе, когда въ нихъ распространяется электрическая сила. Для силы же тяжести до настоящаго времени ничего подобнаго не доказано. Такимъ образомъ, взглядъ Фарадэя на силы, дѣйствующія на разстояніи, еще не нашелъ опытнаго подтвержденія, но онъ составляетъ исходную точку для всѣхъ изслѣдованій этого важнаго вопроса.

Выше (I, § 420) было сказано, какъ Фарадэй при помощи красиваго опыта показалъ, что свѣтовыя колебанія находятся въ зависимости отъ молекулярныхъ измѣненій, которыя совершаются въ кристаллической пластинкѣ, когда ее помѣщаютъ въ сильномъ магнитномъ полѣ.

Фарадэй сталъ еще знаменитѣе, чѣмъ его учитель Дэви, но въ противоположность послѣднему онъ велъ простой образъ жизни и жилъ со своей женой тихо и уединенно въ своемъ домѣ. Онъ принадлежалъ къ маленькой религіозной общинѣ, въ которой часто произносилъ рѣчи, такъ какъ испытывалъ потребность дѣлиться своимъ христіанскимъ міровоззрѣніемъ. Съ одной стороны это былъ тонкій и глубокій изслѣдователь, а съ другой—человѣкъ съ дѣтскимъ характеромъ и съ душою, впечатлительной ко всему тому, что воспринимается сердцемъ, а не умомъ. Умеръ онъ въ 1867 году.

Аккумуляторы

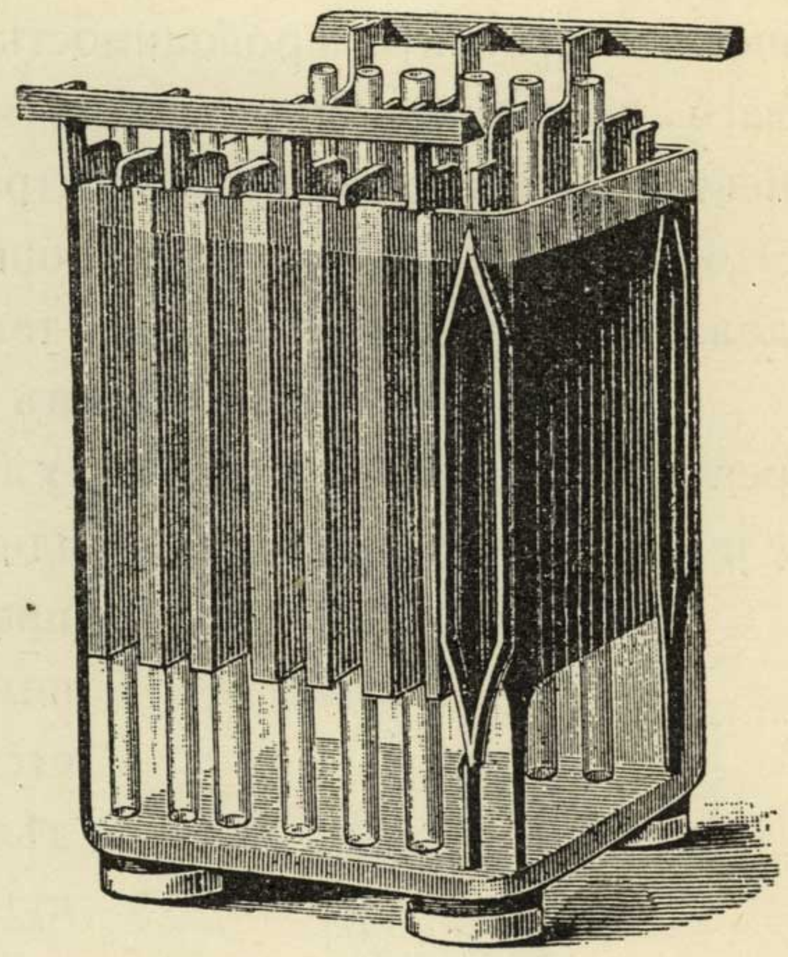
387. Прежде чѣмъ мы перейдемъ къ разсмотрѣнію еще нѣкоторыхъ примѣненій электрическаго тока, о которыхъ до сихъ поръ еще не было рѣчи, намъ необходимо познакомиться съ аккумуляторами. Это такъ называемые вторичные элементы, т. е. элементы, которые обязаны своей силой дѣйствію электрическаго тока.

Зарядный столбъ Риттера (§ 318) представляетъ вторичный элементъ; но первый практически приложимый приборъ этого рода былъ устроенъ лишь въ 1860 году Гастономъ Планте, профессоромъ физики въ Парижѣ. Онъ свернулъ въ спираль двѣ свинцовыя пластинки въ 1 *мм* толщиной, 60 *см* длиной и 15 *см* шириной, отдѣливъ ихъ другъ отъ друга резиновыми прокладками, толщиной въ 5 *мм*.

http://mathesis.ru

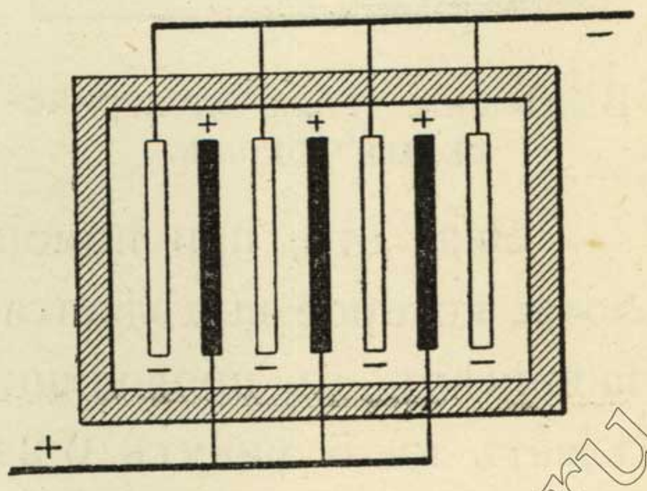
Планте помѣстилъ эти спирали въ подкисленную воду и пропустилъ электрическій токъ (заряжающій токъ) отъ одной пластинки черезъ воду къ другой пластинкѣ. Вода разложилась и одна изъ пластинокъ сильно окислилась. Когда затѣмъ токъ былъ прерванъ, то пластинки сами дали токъ при соединеніи ихъ проводомъ, причемъ этотъ токъ имѣлъ направленіе, противоположное направленію заряжающаго тока (ср. § 318). Теперь на пластинкѣ, покрытой окисью, выдѣлялся водородъ и окись свинца возстановлялась. Полученный такимъ образомъ свинецъ имѣетъ пористое строеніе, вслѣдствіе чего онъ принимаетъ въ себя при новой зарядкѣ большее количество кислорода.—Камиллъ Форъ измѣнилъ въ 1881 году форму прибора, получившаго теперь названіе аккумулятора, помѣстилъ свинцовыя пластинки не свернутыми въ четыреугольный стеклянный сосудъ (рис. 328). Здѣсь заряжается одновременно большее число пластинокъ, которыя соединены между собою черезъ одну (рис. 329). Чтобы сообщить свинцовымъ пластинкамъ возможно большую ёмкость по отношенію къ кислороду, аккумуляторъ подвергаютъ обработкѣ (формовкѣ), состоящей въ томъ, что его нѣсколько разъ заряжаютъ и снова разряжаютъ. Благодаря этому пластинки получаютъ губчатое строеніе,—особенно анодъ заряжающаго тока. Формовка облегчается тѣмъ, что свинцовыя пластинки покрываютъ слоемъ сурика. Отрицательныя пластинки обыкновенно покрываются бороздами или квадратными углубленіями, которыя наполнены окисью свинца. При заряжаніи такого аккумулятора пластинки одной группы сильно окисляются, пластинки другой группы возстановляются. По окончаніи заряда получаются двѣ группы пластинокъ, окисленныя въ весьма различной степени. Различіе пластинокъ въ химическомъ отношеніи вызываетъ электродвижущую силу, доходящую при полномъ зарядѣ до 2·5 вольта и опускающуюся во время разряда до 2 вольтъ. Если пластинки велики, а разстояніе между ними мало, то сопротивленіе, оказываемое аккумуляторомъ заряжающему току, не велико. Конечно, оно ослабляется вслѣдствіе поляризаціи пластинокъ, получившейся отъ заряжающаго тока. Энергія тока превращается въ химическую энергію, которая скопляется въ свинцовыхъ пластинкахъ. Когда аккумуляторъ разряжается, эта химическая энергія снова превращается въ энергію тока.—Такъ какъ въ заряженномъ аккумуляторѣ не происходитъ химическаго измѣненія, если пластинки не соединены проводникомъ, то энергія можетъ сохраняться въ аккумуляторахъ продолжительное время.

Рис. 328



Аккумуляторъ.

Рис. 329



Соединеніе пластинокъ въ аккумуляторѣ.

При разрядѣ электродвижущая сила аккумулятора быстро падаетъ до 2 вольтъ, а при дальнѣйшемъ разряженіи и до 1·8 вольтъ. Аккумуляторъ не выноситъ сильнаго тока ни при зарядѣ, ни при разрядѣ. Вообще токъ не долженъ переходить

http://mathesis.ru

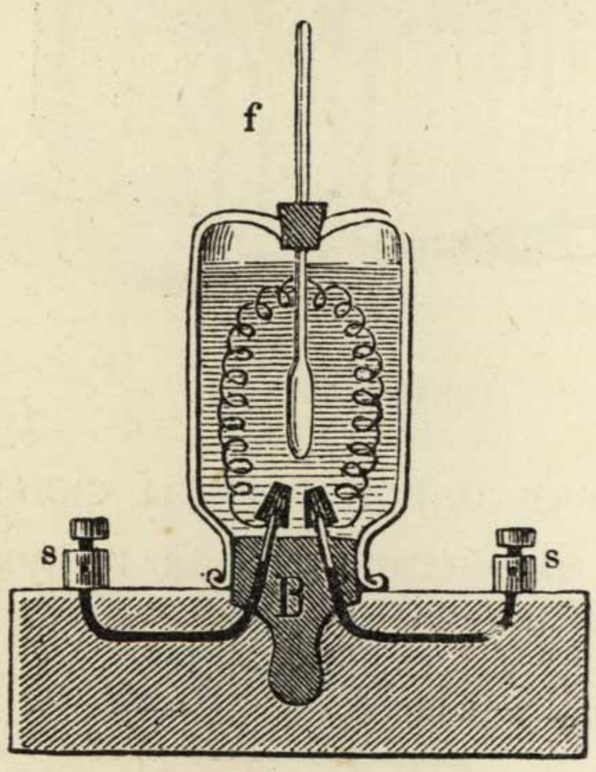
0·6 ампера на каждый квадратный дециметръ поверхности аккумулятора какъ при зарядѣ, такъ и при разрядѣ. Въ хорошемъ аккумуляторѣ каждый квадратный дециметръ поверхности пластинокъ обладаетъ ёмкостью приблизительно въ 2 амперъ-часа.

Полученіе тепла и свѣта при помощи электрическаго тока

388. На своемъ пути электрическій токъ постоянно выдѣляетъ тепло. Болѣе раннія наблюденія надъ теплотой, выдѣляемой электрическими искрами, были упомянуты выше (§ 301). Впослѣдствіи нашли, что электрическій токъ развиваетъ тѣмъ больше теплоты, чѣмъ больше сопротивленіе, которое ему нужно преодолѣть. Дэви пытался сравнить проводимость различныхъ металловъ измѣреніемъ тепла, развиваемаго электрическимъ токомъ въ проволокахъ изъ этихъ металловъ. Полное объясненіе теплового дѣйствія электрическаго тока было, однако, впервые дано Джаулемъ. Это было сдѣлано при помощи тѣхъ же опытовъ, которыми онъ началъ свои изслѣдованія надъ опредѣленіемъ теплового эквивалента.

На рис. 330 изображенъ приборъ, посредствомъ котораго Ленцъ подтвердилъ результаты, полученные Джаулемъ. Проволоки, идущія отъ полюсовъ, закрѣплены въ *s* и *s*, такъ что токъ, какъ видно изъ рисунка, долженъ пройти черезъ двѣ толстыхъ проволоки и спираль изъ тонкой проволоки. Спираль помѣщена въ спиртѣ, температура котораго отсчитывается по термометру *f*. Теплота, развитая токомъ въ опредѣленный промежутокъ времени, напримѣръ, въ одну секунду, можетъ быть легко вычислена, если извѣстны повышеніе температуры спирта и его удѣльная теплота. Послѣдняя равна 0·6.

Рис. 330



Выдѣленіе тепла электрическимъ токомъ.

Джауль нашелъ, что количество теплоты, выдѣляемое токомъ, при неизмѣнной силѣ тока пропорціонально сопротивленію, при неизмѣнномъ же сопротивленіи оно пропорціонально квадрату силы тока (такъ называемый законъ Джауля).

Токъ въ 1 амперъ даетъ при сопротивленіи въ 1 омъ 0·24 граммкалоріи въ секунду.

Зная это, при помощи закона Джауля можно легко вычислить количество теплоты, которое выдѣляется въ проводникѣ, когда извѣстны сила тока и сопротивленіе. Напримѣръ, въ проводникѣ съ сопротивленіемъ въ 20 омовъ токъ въ 5 амперъ выдѣляетъ въ 5 минутъ $0{\cdot}24 \times 20 \times 5^2 \times 300 = 36000$ граммкалорій.

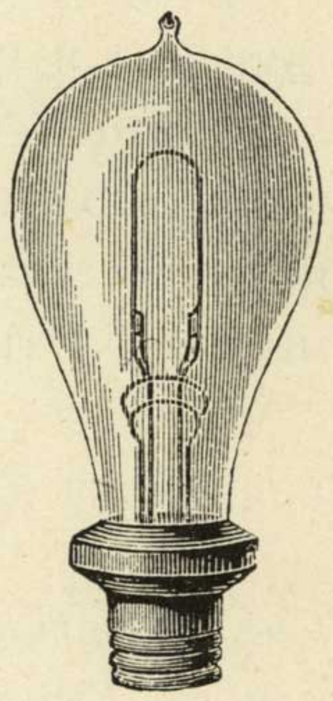
Нужно замѣтить, что тепловое дѣйствіе тока растетъ гораздо быстрѣе, чѣмъ сила тока. Если, напримѣръ, два провода съ большой разностью напряженій приходятъ въ соприкосновеніе другъ съ другомъ (короткое замыканіе), то при незначительномъ сопротивленіи проводовъ можетъ получиться сильный токъ. Въ этомъ случаѣ возникаетъ опасность, что проводъ можетъ быть разрушенъ (расплавленъ) получающимся тепломъ. Чтобы помѣшать этому, въ проводъ включаютъ короткую свинцовую проволоку, такъ называемый свинцовый предохранитель. Тогда, если сила тока становится угрожающей, свинцовый предохранитель расплавляется и токъ прерывается, прежде чѣмъ онъ начнетъ разрушать настоящій проводъ.

http://mathesis.ru

389. Накаливаніе посредствомъ электрическаго тока находитъ широкое примѣненіе въ электрическихъ лампахъ накаливанія. Уже въ 1841 году Молейнсъ въ Англіи построилъ электрическую лампу накаливанія. Она состояла изъ стекляннаго шара, въ который входила платиновая проволока, впаянная въ его стѣнки и накаливаемая электрическимъ токомъ. Проволока была посыпана угольной пылью, а воздухъ былъ тщательно выкачанъ изъ шара. Уголь, накаливаясь, давалъ сильный бѣлый свѣтъ. Эта лампа имѣла, однако, тотъ недостатокъ, что скоро портилась вслѣдствіе того, что платиновая проволока расплавлялась, когда сила тока переходила извѣстную норму.

Новая лампа накаливанія была устроена въ 1845 году американцемъ Старромъ. Платиновая проволока была замѣнена въ ней тонкимъ угольнымъ стерженькомъ (изъ ретортнаго угля). Однако, даже и въ томъ случаѣ, когда воздухъ изъ шара былъ хорошо выкачанъ, лампа скоро становилась негодной отъ того, что въ порахъ угля заключался воздухъ и стерженекъ перегоралъ. Поэтому снова вернулись къ металлическимъ проволокамъ. Былъ также изобрѣтенъ (1858) регуляторъ, не позволявшій току подыматься выше извѣстной нормы и разрушать лампу вслѣдствіе плавленія проволоки. Тѣмъ не менѣе, лампа накаливанія не находила пока практическаго примѣненія, такъ какъ свѣтъ, излучавшійся накаленной платиновой проволокой, не былъ достаточно интенсивенъ. Лишь послѣ того, какъ извѣстный американскій изобрѣтатель Эдисонъ (род. 1847) замѣнилъ въ 1879 году платиновую проволоку угольной нитью (обугленное бамбуковое волокно), лампа накаливанія нашла практическое примѣненіе. Угольная нить заключается въ стеклянную грушу (рис. 331). Концы нити прикрѣплены къ двумъ платиновымъ проволокамъ, впаяннымъ въ стекло, изъ коихъ одна проволока соединена съ металлической пластинкой въ нижней части груши, а другая съ металлической винтовой нарѣзкой на шейкѣ груши. Лампа ввинчивается въ гильзу, которая устроена такъ, что проволока, доставляющая токъ, касается винтовой нарѣзки, а проволока, отводящая токъ,—металлической пластинки.

Рис. 331



Лампа накаливанія.

Очень важно, чтобы накаливающаяся нить имѣла одну и ту же толщину по всей длинѣ. Въ противномъ случаѣ она накалялась бы не одинаково сильно въ мѣстахъ различной толщины, и въ томъ мѣстѣ, гдѣ она тоньше всего, она тотчасъ же перегорѣла бы. Чтобы дать нити равномѣрную толщину, ее погружаютъ въ углеводородъ съ высокимъ содержаніемъ углерода (напримѣръ, въ пары газолина) и накаляютъ посредствомъ электрическаго тока. Тогда углеродъ выдѣляется, отлагаясь на поверхности нити въ видѣ блестящаго, какъ сталь, покрова и именно больше всего въ тѣхъ мѣстахъ, которыя сильнѣе всего накалены, т. е. въ которыхъ нить наиболѣе тонка.

Напряженіе, необходимое для накаливанія нити, опредѣляется ея длиной и толщиной, равно какъ и силой свѣта, которую желаютъ получить. Размѣры лампочекъ накаливанія выбираютъ обыкновенно такимъ образомъ, что для нихъ требуется напряженіе въ 65, въ 100 или въ 110 вольтъ. Сила свѣта обыкновенно составляетъ 16, 25 или 32 нормальныхъ свѣчи. Однако, изготовляются какъ болѣе слабыя, такъ и болѣе сильныя лампочки. Продолжительность горѣнія лампы различна въ зависи-

http://mathesis.ru

мости отъ того, горитъ ли она болѣе или менѣе экономно въ отношеніи потребленія электричества. Чѣмъ выше температура, до которой накалена нить, тѣмъ большая часть энергіи тока превращается въ свѣтъ. Но при высокой температурѣ проволока разрушается скорѣе, чѣмъ при низкой.

390. Затрата электричества лампой накаливанія можетъ быть разсчитана съ помощью закона о тепловомъ дѣйствіи электрическаго тока, если при этомъ помнить, что механическій эквивалентъ тепла равенъ 424 килограмметрамъ.

Если сила тока будетъ i, а сопротивленіе, которое нужно преодолѣть току, равно w, то согласно закону Джауля токъ развиваетъ въ проводѣ $0{\cdot}24 \times i^2 \times w$ граммкалорій въ секунду. Вся работа, совершаемая токомъ, состоитъ въ выдѣленіи тепла.

Теплота, выдѣлившаяся въ одну секунду, равна, слѣдовательно, $0{\cdot}24 \times i^2 \times w$ граммкалорій. Но произведеніе $i \times w$ согласно закону Ома равно напряженію тока, выраженному въ вольтахъ (амперы $\times$ омы $=$ вольтамъ). Обозначимъ напряженіе черезъ e; выраженіе для выдѣлившейся теплоты получитъ видъ $0{\cdot}24 \times i \times e$ граммкалорій или $\frac{0{\cdot}24 \times i \times e}{1000}$ килограммкалорій. Чтобы преобразовать это количество теплоты въ килограмметры, нужно полученное число умножить на 424. Такимъ образомъ, величина работы тока въ секунду будетъ

$$\frac{0{\cdot}24 \times i \times e}{1000} \times 424 = 0{\cdot}10176 \times i \times e \text{ килограмметровъ.}$$

Слѣдовательно, работоспособность тока пропорціональна произведенію силы тока (амперы) и напряженія (вольты).

Чтобы опредѣлить, сколько „вольтъ-амперовъ“ долженъ имѣть токъ для того, чтобы его работоспособность равнялась лошадиной силѣ, нужно вспомнить, что лошадиная сила есть сила, которая совершаетъ въ секунду работу въ 75 килограмметровъ. Изъ равенства

$$0{\cdot}10176 \times i \times e = 75$$

получается

$$i \times e = 736 \text{ вольтъ-амперамъ.}$$

Слѣдовательно, лошадиная сила соотвѣтствуетъ энергіи тока въ 736 вольтъ-амперъ или въ 736 ваттъ. Динамомашина, дающая при напряженіи въ 150 вольтъ токъ въ 10 амперъ, совершаетъ въ секунду работу въ 1500 ваттъ или $1500 : 736 = 2{\cdot}04$ лошадиной силы.

391. Теперь мы можемъ разсчитать количество энергіи, потребленное лампой накаливанія. Въ общемъ можно считать, что каждая единица силы свѣта въ одну нормальную свѣчу расходуетъ 3 ватта. Слѣдовательно, лампа въ 16 свѣчей расходуетъ 48 ваттъ. Если не считаться съ продолжительностью существованія лампы, то силу свѣта въ одну нормальную свѣчу можно получить при затратѣ только 1·5 ватта. Въ этомъ случаѣ сопротивленіе угольной нити должно быть больше, т. е. нить должна быть тоньше. Чѣмъ тоньше угольная нить, тѣмъ скорѣе она разрушается. Продолжительность горѣнія лампы, въ которой затрачивается 3 ватта на одну нормальную свѣчу, равна приблизительно 1000 часамъ, а продолжительность горѣнія лампы, въ которой та же сила свѣта получается затратой 1·5 ватта, равна, напротивъ, только 250 часамъ. Если положить 3 ватта на одну нормальную свѣчу, то

http://mathesis.ru

одна (электрическая) лошадиная сила даетъ силу свѣта въ $736 : 3 = 245{\cdot}3$ нормальныхъ свѣчей.

392. Первая электрическая лампа была, однако, не лампа накаливанія, а дуговая лампа. На съѣздѣ естествоиспытателей въ Женевѣ въ 1820 году Деларивъ пропускалъ между угольными остріями искры, полученныя отъ батареи въ 380 мѣдно-цинковыхъ элементовъ. При надлежащемъ разстояніи между послѣдними искры образовали равномѣрную ослѣпительно-бѣлую свѣтовую дугу. Что сгораніе угля при этомъ не играетъ роли, Деларивъ показалъ, получая свѣтовую дугу въ безвоздушномъ пространствѣ. Свѣтовая дуга представляетъ собою мостикъ изъ оторванныхъ частичекъ угля, переносимыхъ съ положительнаго полюса на отрицательный и очень хорошо проводящихъ электричество.

Въ слѣдующемъ году Дэви произвелъ съ дуговымъ свѣтомъ опытъ въ большомъ масштабѣ. Для полученія тока служила батарея въ 2000 элементовъ, квадратныя мѣдныя и цинковыя пластинки которыхъ имѣли стороны въ 2 *дцм* длиною. Сначала токъ замкнули, когда угольныя острія касались другъ друга; затѣмъ ихъ раздвинули и между ними появилась свѣтовая дуга. Этимъ путемъ Дэви получилъ дугу въ 8 *см* длиною; но угли сгорали очень быстро. Чтобы устранить это, онъ помѣстилъ угли въ стеклянный шаръ и выкачалъ изъ него воздухъ до давленія въ 6 *мм*, ртутнаго столба. Теперь угли не сгорали и свѣтовая дуга достигала въ разрѣженномъ пространствѣ длины въ 18 *см*.

Полученіе дугового свѣта было значительно усовершенствовано тѣмъ, что въ 1844 году Фуко замѣнилъ деревянный уголь, которымъ пользовались Деларивъ и Дэви, ретортнымъ углемъ. Этотъ ретортный или газовый уголь осаждается на внутреннихъ стѣнкахъ ретортъ, въ которыхъ происходитъ перегонка каменнаго угля для добыванія свѣтильнаго газа. Онъ очень твердъ, хорошо проводитъ электричество и сгораетъ при гораздо болѣе высокой температурѣ, чѣмъ деревянный уголь.

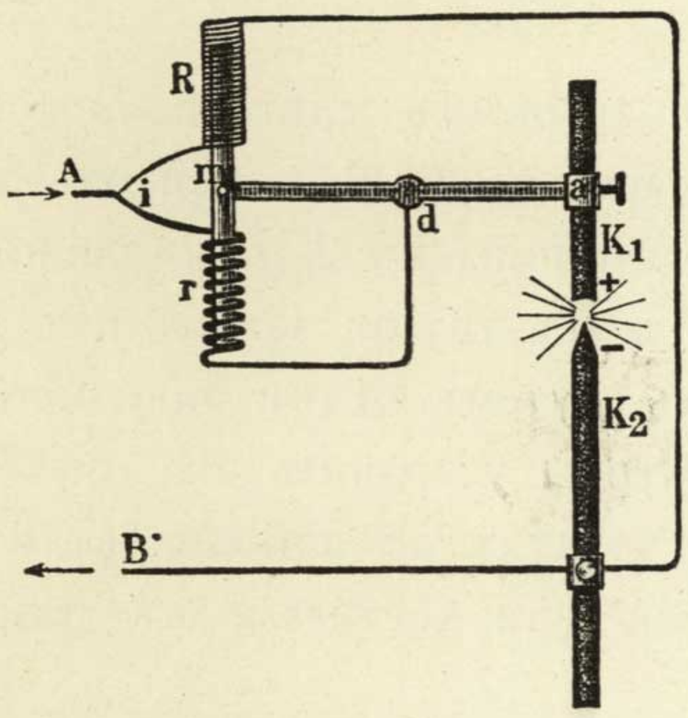
Практическое примѣненіе для цѣлей освѣщенія дуговая лампа могла получить лишь послѣ изобрѣтенія динамомашины. Но и тогда еще она должна была быть существенно улучшена въ одномъ отношеніи, именно ее нужно было снабдить приспособленіемъ, при помощи котораго автоматически регулировалось бы разстояніе между угольными палочками. Это было достигнуто лишь въ 70-хъ годахъ прошлаго столѣтія. Свѣтъ наиболѣе силенъ, когда разстояніе между углями незначительно. Но такъ какъ угли сгораютъ, то палочки приходится постоянно сближать одну съ другой. Положительный уголь сгораетъ болѣе, чѣмъ вдвое, быстрѣе отрицательнаго; вслѣдствіе этого ему даютъ вообще бо́льшій діаметръ.

393. Въ настоящее время существуетъ нѣсколько видовъ дуговыхъ лампъ. На рис. 332 изображена такъ называемая дифференціальная лампа. Отрицательный уголь K_2 неподвиженъ, положительный же K_1, укрѣпленный на одномъ плечѣ рычага, вращающагося около точки *d*, наоборотъ, подвиженъ. На другомъ плечѣ рычага укрѣпленъ желѣзный стержень *m*, окруженный сверху и снизу проволочными обмотками. Токъ вступаетъ при *A* и раздѣляется въ обѣ обмотки, изъ коихъ верхняя обладаетъ значительно большимъ сопротивленіемъ, чѣмъ нижняя. Изъ рисунка легко можно видѣть, какой путь проходятъ въ лампѣ обѣ части тока до точки выхода *B*. Допустимъ, что токъ замыкается, когда угли касаются другъ друга. Въ этомъ мѣстѣ токъ не встрѣчаетъ замѣтнаго сопротивленія и поэтому по верхней обмоткѣ токъ, такъ сказать,

http://mathesis.ru

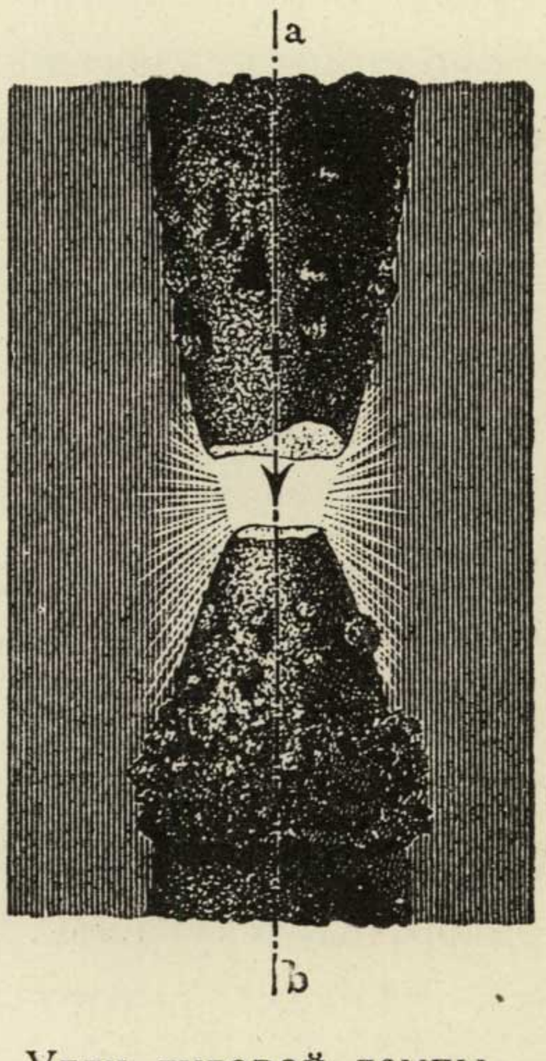
вовсе не идетъ. Результатомъ этого будетъ то, что желѣзный стержень *m* будетъ притягиваться внизъ, такъ какъ въ нижней обмоткѣ (главный проводъ) токъ сильно дѣйствуетъ притягательнымъ образомъ на *m*. Вслѣдствіе перемѣщенія *m* угли раздвигаются и между ними появляется свѣтовая дуга. Когда разстояніе между углями увеличивается, токъ въ нижней обмоткѣ ослабѣваетъ, а въ верхней, наоборотъ, усиливается. Поэтому *m* притягивается вверхъ и угли сближаются. Такимъ образомъ, токъ въ лампѣ удерживаетъ угли на надлежащемъ разстояніи. Если замкнуть токъ, когда угли не касаются другъ друга, то лампа всетаки начинаетъ дѣйствовать. Именно, въ

Рис. 332



Дифференціальная лампа.

Рис. 333



Угли дуговой лампы.

этомъ случаѣ весь токъ въ первое мгновеніе идетъ по верхней обмоткѣ. Поэтому *m* поднимается, угли приходятъ въ соприкосновеніе, и токъ идетъ по главному проводу, т. е. черезъ угли.

Концы углей горящей дуговой лампы принимаютъ своеобразную форму (рис. 333). Положительный уголь принимаетъ форму кратера и испускаетъ сильный свѣтъ. Отрицательный уголь заостряется и свѣтитъ меньше, чѣмъ положительный. Длина свѣтовой дуги, т. е. разстояніе между углями, различна у лампъ различной величины. Въ маленькихъ лампахъ длина свѣтовой дуги равна 1 *мм*, въ большихъ она доходитъ до 4 *мм*.

394. Свѣтъ дуговой лампы дешевле, чѣмъ свѣтъ лампы накаливанія. На нормальную свѣчу въ дуговой лампѣ расходуется 0·4 ватта энергіи, т. е. приблизительно седьмая часть той энергіи, которая требуется для лампы накаливанія.

Но дуговая лампа можетъ примѣняться лишь тамъ, гдѣ есть надобность въ большихъ количествахъ свѣта. Разность напряженій на угляхъ во время горѣнія лампы равна въ среднемъ 45 вольтамъ. Для обслуживанія дуговыхъ лампъ пользуются токами отъ 3 до 20 амперъ. Силы свѣта, соотвѣтствующія различной силѣ тока, можно видѣть изъ слѣдующей таблицы.

Сила тока въ амперахъ.	3	4	5	6	7	8	9	10	12	20
Сила свѣта въ нормальныхъ свѣчахъ	250	360	470	580	700	830	980	1130	1450	3000

Изъ этой таблицы видно, что свѣтъ тѣмъ дешевле, чѣмъ сильнѣе токъ.

Такъ какъ большая часть свѣта получается отъ кратера положительнаго угля, то дуговая лампа можетъ освѣщать большую поверхность лишь съ значительной высоты.

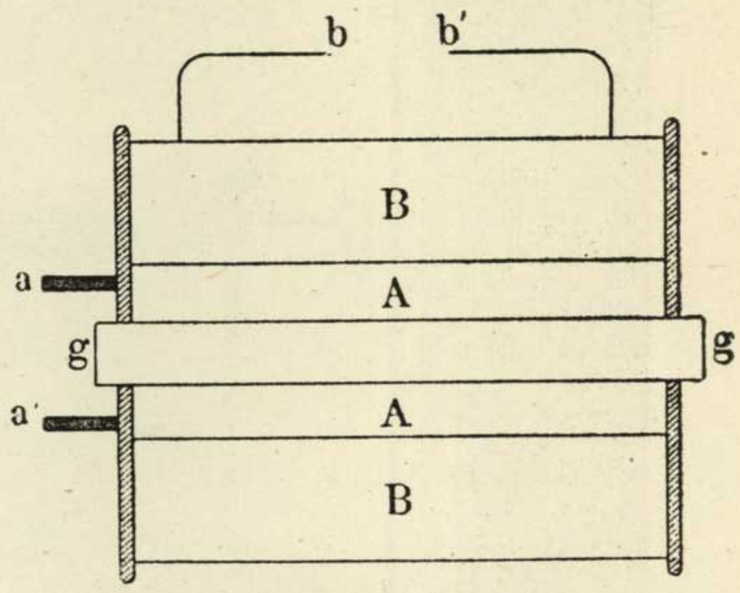
http://mathesis.ru

Электрическіе разряды въ разрѣженномъ воздухѣ

395. Длина, которой можетъ достигать электрическая искра, зависитъ отъ разности напряженій электричества въ тѣхъ двухъ тѣлахъ, между которыми она проскакиваетъ. Для полученія большихъ разностей напряженія служитъ индукціонный приборъ, который по имени изобрѣтателя называютъ катушкой или спиралью Румкорфа, а также искровымъ индукторомъ. Въ существенномъ онъ состоитъ изъ тѣхъ же частей, какъ и приборъ, описанный раньше (§ 379). Вокругъ пучка желѣзныхъ проволокъ *gg* обматывается толстая изолированная мѣдная проволока, первичная обмотка *AA* (съ концами *a* и *a'*, рис. 334). Вокругъ обмотки *AA* намотана очень тонкая и очень хорошо изолированная мѣдная проволока, индукціонная обмотка *BB* (съ концами *b* и *b'*). Въ большихъ приборахъ она можетъ достигать 300 *км* длины.

По обмоткѣ *AA* пропускаютъ токъ въ 5—10 амперовъ. При этомъ желѣзный сердечникъ сильно намагничивается и въ обмоткахъ индуктируется токъ. Между *b* и *b'* возникаетъ разность напряженій и проскакиваетъ искра.—Разумѣется, индукція продолжается до тѣхъ поръ, пока въ *gg* происходитъ измѣненіе магнитизма. Когда токъ въ *AA* прерывается, желѣзный сердечникъ размагничивается, въ *BB* снова происходитъ индукція и между *b* и *b'* возникаетъ разность напряженій. Если разстояніе между *b* и *b'* не очень велико, то искра проскакиваетъ какъ при замыканіи, такъ и при размыканіи тока.

Рис. 334



Приборъ Румкорфа.

Тѣ двѣ искры, которыя получаются при замыканіи тока и при его размыканіи, очень различны по своей силѣ, — послѣдняя значительно сильнѣе первой. При прерываніи тока въ *AA* между *b* и *b'* получается гораздо болѣе значительная разница напряженій, чѣмъ при замыканіи тока. Причина этого лежитъ не въ томъ, что при размыканіи тока получается больше электричества, чѣмъ при его замыканіи, а въ томъ, что главный токъ достигаетъ своей полной силы не мгновенно послѣ замыканія. Вслѣдствіе этого индуктирующее дѣйствіе при замыканіи главнаго тока продолжается дольше, чѣмъ при его прерываніи. Именно, если замкнуть и прервать главный токъ, то индуктированный токъ возникаетъ не только въ индукціонной обмоткѣ, но и въ главной обмоткѣ (самоиндукція). Этотъ индуктированный токъ, такъ называемый экстратокъ, при замыканіи дѣйствуетъ противоположно главному току, а при размыканіи въ одномъ направленіи съ нимъ. Поэтому въ первомъ случаѣ онъ ослабляетъ главный токъ, въ послѣднемъ же усиливаетъ его.

Если помѣстить *b* и *b'* на извѣстномъ разстояніи, то между ними будутъ проскакивать искры только при размыканіи тока, при замыканіи же его искръ не будетъ.

Если при этомъ первичный токъ будетъ замыкаться и размыкаться Вагнеровскимъ молоточкомъ, то между *b* и *b'* будутъ проскакивать искры въ одномъ и томъ же направленіи.

Искровой индукторъ современной конструкціи представленъ на рис. 335. Токъ батареи вступаетъ въ главную спираль въ *a* и выходитъ изъ нея въ *b*. Концы индукціонной спирали соединяются съ зажимами *F* и *G*. *N* представляетъ коммутаторъ, при помощи котораго можно удобно прерывать и замыкать токъ, а также

http://mathesis.ru

давать ему противоположное направленіе. Рычажекъ *gcs* представляетъ приспособленіе для прерыванія. Токъ батареи замыкается, когда металлическій штифтикъ *h* погружается въ ртуть, налитую въ сосудъ *R*. Но какъ только токъ замыкается, якорь *s* притягивается желѣзнымъ сердечникомъ главной спирали. Вслѣдствіе этого прикосновеніе между *h* и ртутью прекращается и токъ прерывается. Металлическій штифтъ *h* снова падаетъ въ ртуть, токъ снова замыкается и т. д. Металлическій стерженекъ, идущій вверхъ отъ точки вращенія рычага, служитъ для того, чтобы перемѣщеніемъ шарика *k* ускорять или замедлять колебанія рычажка.

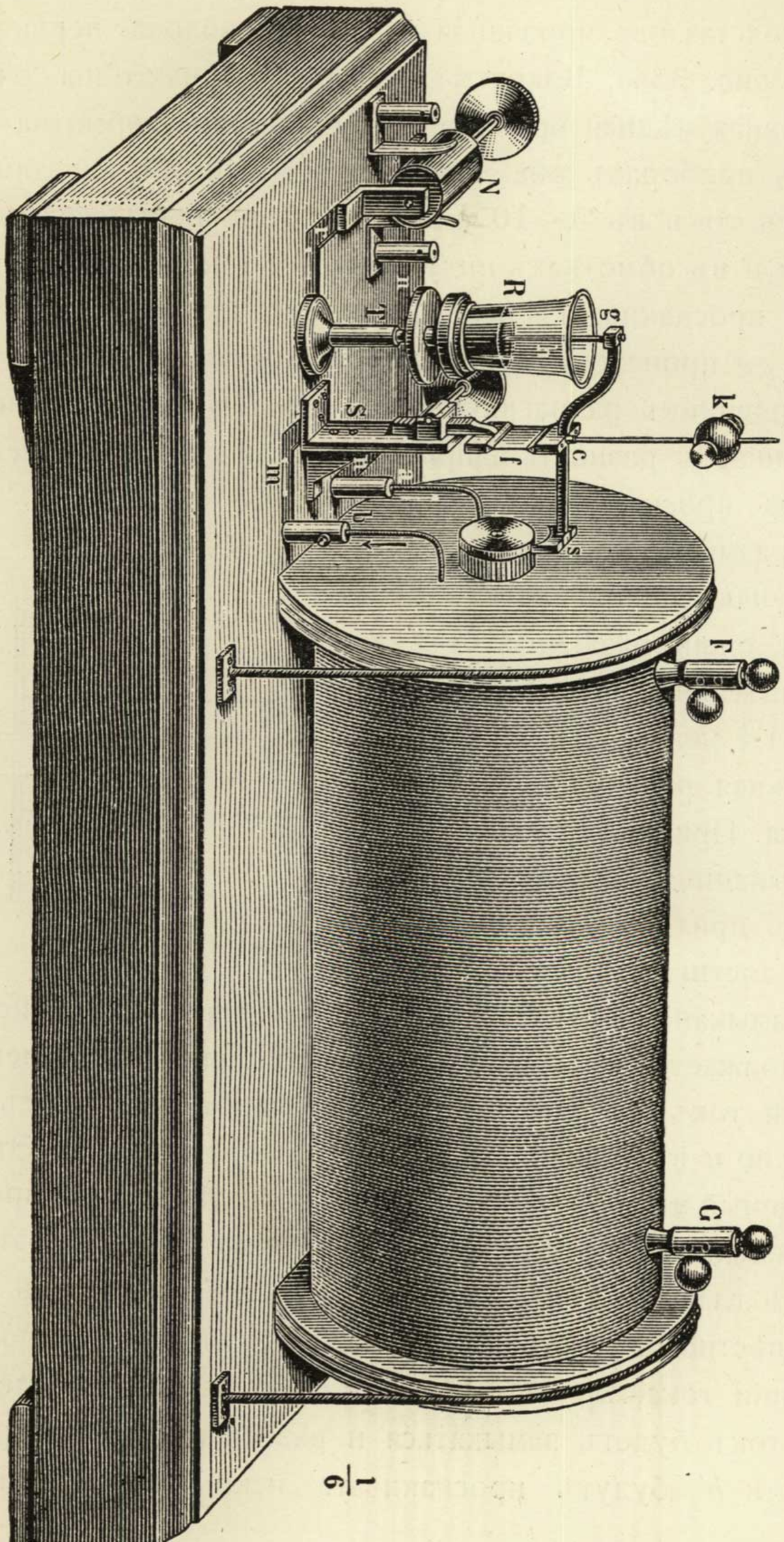


Рис. 335

Искровой индукторъ.

Для того чтобы избѣжать образованія сильныхъ искръ между желѣзнымъ остріемъ и ртутью, на ртуть наливаютъ немного спирта. Послѣдній проводитъ электричество еще хуже, чѣмъ воздухъ.

Большія Румкорфовы катушки даютъ искры длиною до 50 *см*.

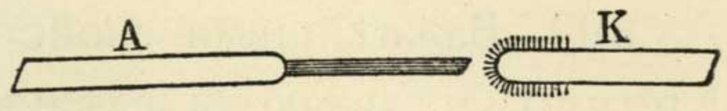
396. Уже въ 1838 году Фарадэй изслѣдовалъ электрическій разрядъ въ разрѣженномъ воздухѣ и при этомъ, между прочимъ, онъ наблюдалъ темный разрядъ. *A* и *K* (рис. 336) представляютъ двѣ металлическихъ палочки въ разрѣженномъ воздухѣ. Если сообщить концу *A* положительный, а концу *K* отрицательный зарядъ, то на *A* образуется красноватый размытый свѣтъ, направляющійся къ *K*, но не доходящій до него. Конецъ *K* самъ окруженъ голубоватымъ свѣтомъ. Между этими двумя свѣтлыми полосами находится темное пространство, по которому электричество переходитъ отъ *A* къ *K*, не производя свѣта.

Фарадэй назвалъ свѣтъ на положительномъ полюсѣ анoднымъ свѣтомъ, на отрицательномъ—катоднымъ свѣтомъ. Эти названія употребляются еще и теперь. Прошло почти 30 лѣтъ, прежде чѣмъ снова взялись за изслѣдованія Фарадэя и повели ихъ дальше.

http://mathesis.ru

Въ 1854 году Гассіо (§ 359), производившій обширныя изслѣдованія электрической искры, изобрѣлъ стеклянную трубку, которая изображена на рис. 337 и которая служитъ для наблюденія электрическихъ разрядовъ въ разрѣженномъ воздухѣ. Позднѣе эта трубка получила имя Гейсслеровой трубки, такъ какъ такія трубки сталъ превосходно дѣлать докторъ Гейсслеръ въ Боннѣ. Въ концы трубки впаяны платиновыя проволоки, соединяющіяся съ полюсами Румкорфовой спирали. Черезъ *a* выкачивается воздухъ и электрическій разрядъ можно наблюдать въ воздухѣ, разрѣженномъ въ той или иной степени.

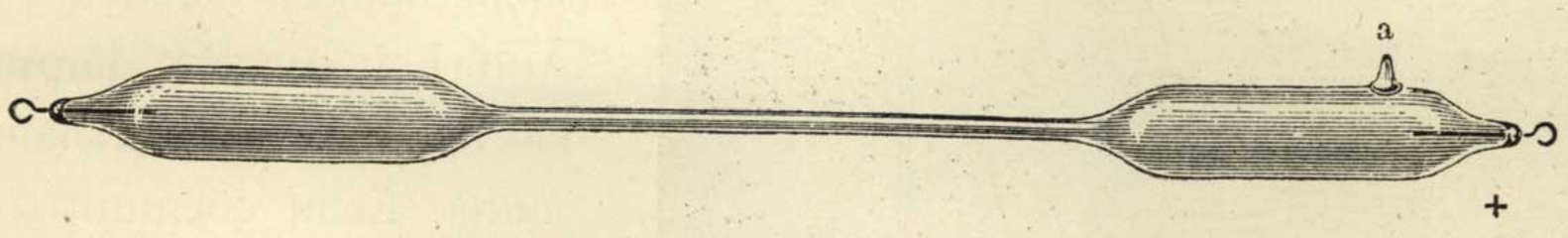
Рис. 336



Темный разрядъ.

397. Пока воздухъ, заключающійся въ трубкѣ, имѣетъ еще плотность атмосфернаго воздуха, между платиновыми проволоками проскакиваетъ обыкновенная электрическая искра. Но если затѣмъ начать разрѣжать воздухъ, то искра теряетъ свои рѣзкія очертанія и трубка наполняется красноватымъ свѣтомъ, распространяющимся отъ анода и доходящимъ до голубого свѣта вокругъ катода. Если разрѣдить воздухъ до $^1/_{200}$ первоначальной плотности, то первоначальный анодный

Рис. 337



Гейсслерова трубка.

свѣтъ заполняетъ всю трубку. Если вести разрѣженіе воздуха еще дальше, то анодный свѣтъ раздѣляется на слои и эти свѣтящіеся слои, раздѣленные темными промежутками, постоянно мѣняютъ свою форму и окраску. При дальнѣйшемъ разрѣженіи анодный свѣтъ въ концѣ концовъ совершенно исчезаетъ, зато возникаетъ совершенно новое явленіе, исходящее изъ катода. При слабомъ разрѣженіи, какъ сказано, катодъ окруженъ голубоватымъ сіяніемъ. Въ немъ можно различить три части: небольшой слой свѣта у самаго катода, темное пространство вокругъ этого слоя и еще одинъ свѣтящійся слой вокругъ темнаго пространства. При очень большомъ разрѣженіи темное пространство въ катодномъ свѣтѣ постепенно увеличивается и, наконецъ, доходитъ до стекла. Тогда послѣднее начинаетъ свѣтиться зеленымъ, желтозеленымъ или желтымъ свѣтомъ (смотря по составу стекла). Другими словами, когда темное пространство катоднаго свѣта достигаетъ стекла, послѣднее начинаетъ флуоресцировать (ср. I, § 390).

Въ 1869 году Гитторфъ (§ 356) напечаталъ работу, положившую основаніе изслѣдованію этихъ явленій, но не нашедшую, однако, надлежащей оцѣнки. Только спустя 10 лѣтъ вниманіе всѣхъ физиковъ было обращено на явленія катоднаго свѣта англійскимъ физикомъ Вильямомъ Круксомъ (род. 1832). Этотъ ученый охватилъ всѣ эти явленія съ одной общей точки зрѣнія. Онъ исходилъ изъ допущенія, что при сильномъ разрѣженіи воздуха его частички отталкиваются электродами съ огромными скоростями, притомъ отъ катода съ значительно бо̀льшими, чѣмъ отъ анода. Значительное разрѣженіе воздуха даетъ молекуламъ гораздо больше мѣста для свободнаго движенія. Круксъ допустилъ, что въ сильно разрѣженномъ состояніи воздухъ обладаетъ совершенно иными свойствами, чѣмъ при обыкновенной плот-

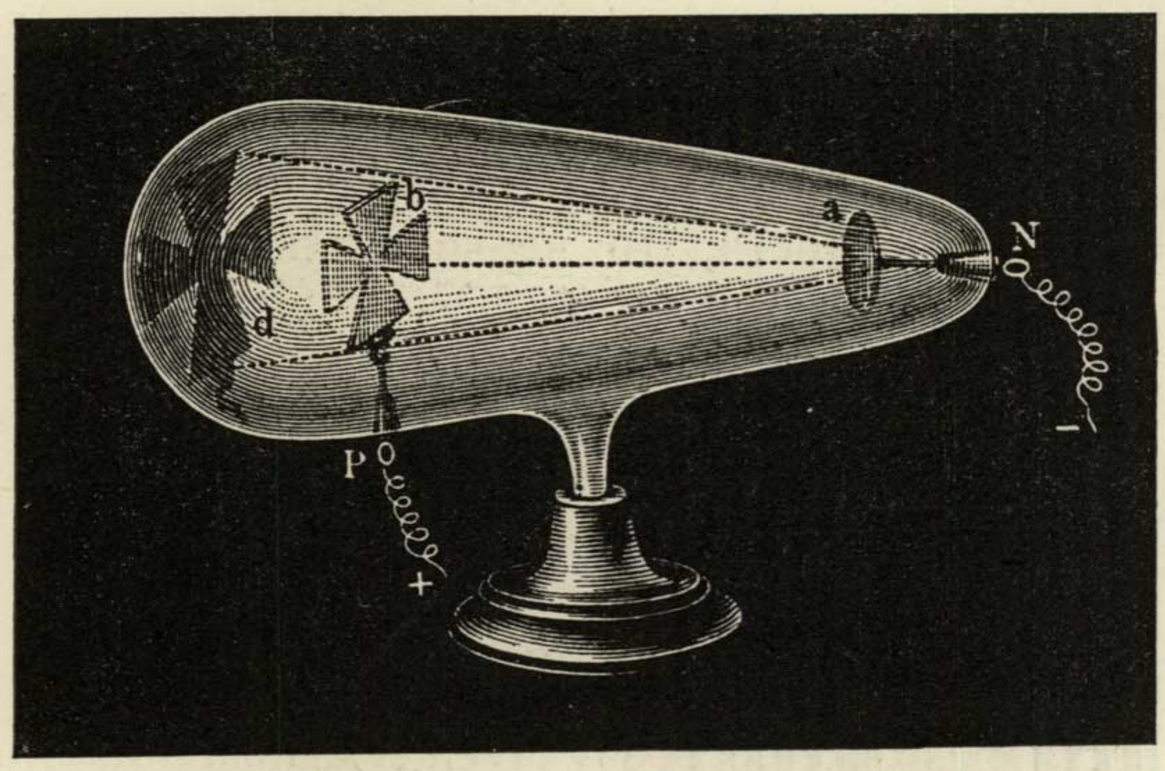
http://mathesis.ru

ности,—что онъ находится, такъ сказать, въ „четвертомъ состояніи“. Сильно разрѣженный воздухъ, находящійся въ этомъ состояніи, Круксъ назвалъ лучистой матеріей.

Темное пространство въ катодномъ свѣтѣ Круксъ считалъ тѣмъ пространствомъ, въ которомъ отрицательно заряженныя частицы воздуха движутся отъ катода по прямымъ линіямъ, перпендикулярнымъ къ поверхности катода. Здѣсь названіе „лучистой матеріи“ прекрасно подходитъ. Въ настоящее время эти явленія излученія называются катодными лучами.

398. Важнѣйшими свойствами катодныхъ лучей, наблюдавшихся Гитторфомъ и Круксомъ, являются слѣдующія. Въ томъ мѣстѣ, гдѣ катодные лучи падаютъ на стеклянную стѣнку, стекло начинаетъ флуоресцировать. Очень красивый опытъ, обнаруживающій это, можно произвести при помощи прибора, изображеннаго на рис. 338. Въ стеклянномъ сосудѣ воздухъ разрѣжается до нѣсколькихъ милліонныхъ долей атмосферы. Анодъ *b* имѣетъ форму креста и, какъ и катодъ, сдѣланъ изъ алюминія. Если соединить *P* и *N* съ Румкорфовой спиралью, то изъ *a* начинаютъ исходить катодные лучи и стекло начинаетъ флуоресцировать. Что эти лучи распространяются прямолинейно, можно видѣть по тѣни креста на стеклянной стѣнкѣ. Этотъ крестъ въ стеклянномъ сосудѣ устроенъ такъ, что его можно отклонить въ сторону. Если сдѣлать это, то тѣнь мгновенно исчезаетъ. Болѣе того—на томъ мѣстѣ, гдѣ раньше была тѣнь, теперь замѣчается свѣтящійся крестъ, такъ какъ флуоресценція въ томъ мѣстѣ, гдѣ была тѣнь, проявляется сильнѣе, чѣмъ въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ стекло уже флуоресцировало нѣсколько времени.

Рис. 338



Прямолинейное распространеніе катодныхъ лучей.

Катодные лучи выходятъ перпендикулярно къ поверхности катода, гдѣ бы ни находился анодъ. Такимъ образомъ, съ катодными лучами дѣло происходитъ совершенно иначе, чѣмъ съ разрядомъ въ не столь разрѣженномъ воздухѣ. *A* и *B* (рис. 339) представляютъ двѣ Круксовыхъ трубки; въ *A* плотность составляетъ $^1/_{400}$, а въ *B* $^1/_{1000000}$ атмосферы.

Въ обѣихъ трубкахъ катодъ *a* имѣетъ форму вогнутаго зеркала и въ каждой изъ нихъ есть аноды *b*, *c*, *d*. Въ трубкѣ *A* отъ *b* или отъ *c* или отъ *d*, смотря по тому, что соединено съ Румкорфовой спиралью, идетъ красноватое сіяніе къ катоду *a*, который самъ окруженъ голубоватымъ свѣтомъ. Напротивъ, въ *B* лучи идутъ перпендикулярно къ катоду, имѣющему форму вогнутаго зеркала, и образуютъ конусъ лучей, падающій на противолежащее мѣсто стеклянной стѣнки, независимо отъ того, какой изъ трехъ анодовъ *b*, *c* и *d* соединенъ съ катушкою Румкорфа.

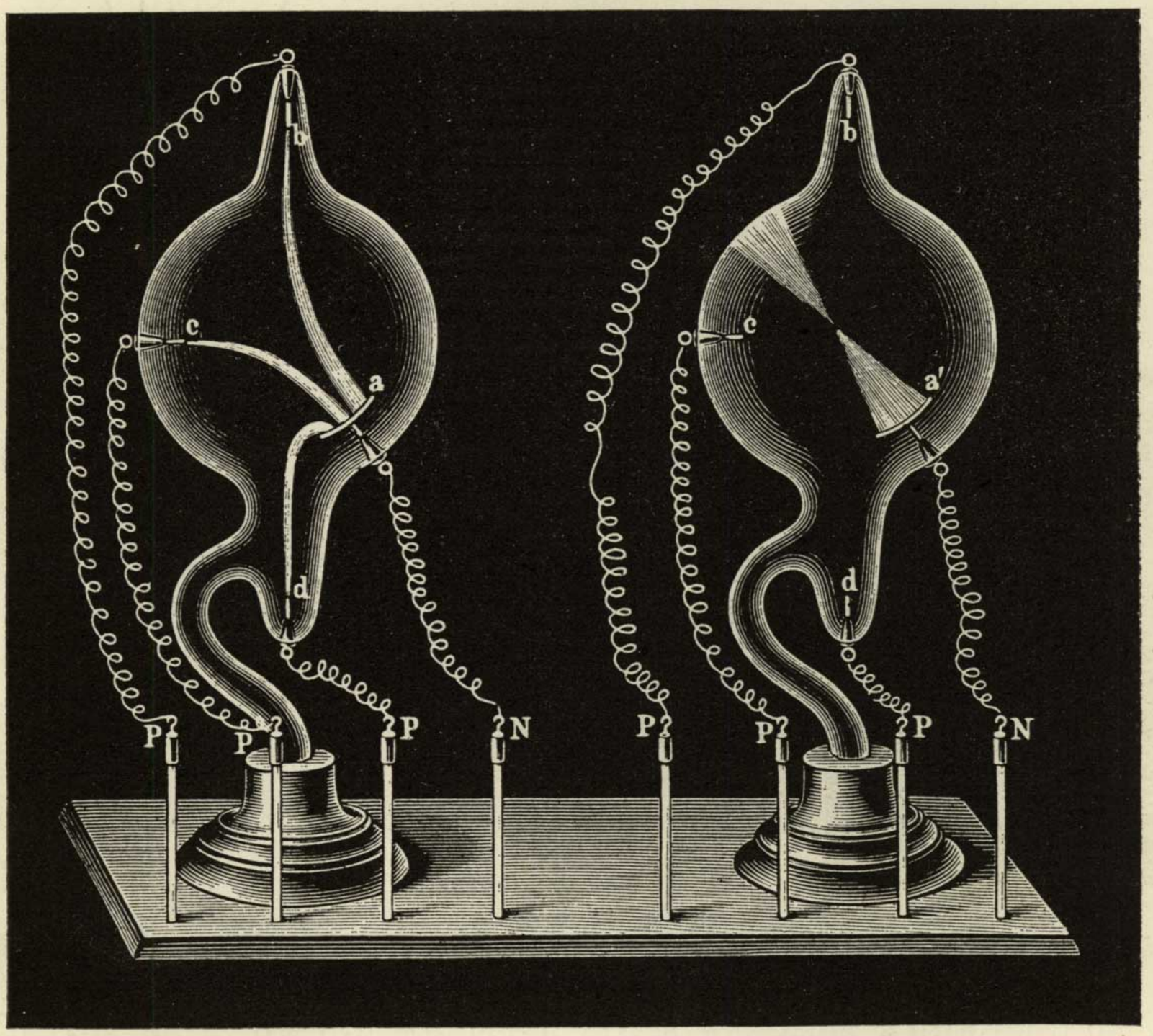
Катодные лучи производятъ механическое дѣйствіе (удары) на тѣла, на которыя они падаютъ. Легкое колесо съ лопатками, ось котораго лежитъ на

http://mathesis.ru

стеклянныхъ палочкахъ (рис. 340), подъ дѣйствіемъ катодныхъ лучей начинаетъ двигаться.

Катодные лучи нагрѣваютъ тѣла, на которыя они падаютъ. Если лучи,

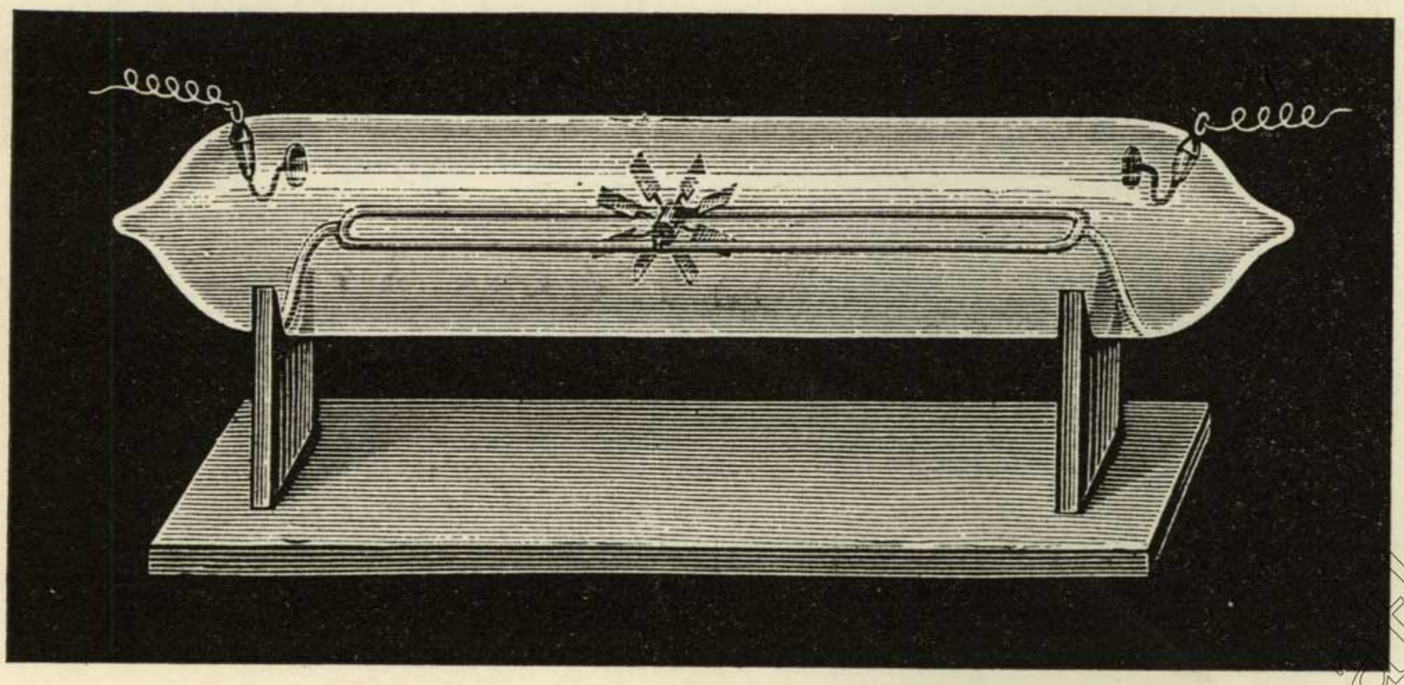
Рис. 339



Разрядъ при различныхъ разрѣженіяхъ.

исходящіе отъ катода, имѣющаго форму вогнутаго зеркала, попадаютъ на платиновую проволоку, находящуюся въ фокусѣ этого зеркала (рис. 341), то послѣдняя накаляется.

Рис. 340



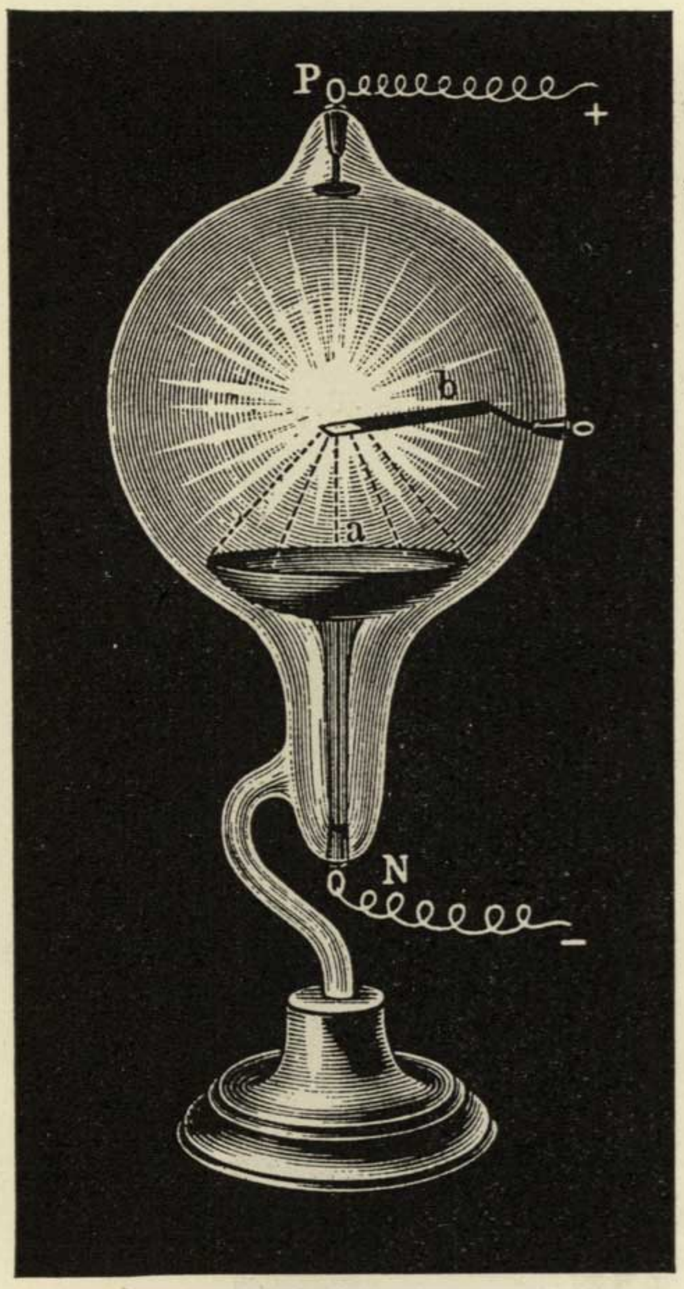
Механическое дѣйствіе катодныхъ лучей.

Наконецъ, нужно еще упомянуть, что катодные лучи отклоняются магнитомъ, какъ наблюдали Гитторфъ и Круксъ. Этимъ они существенно отличаются отъ свѣтовыхъ лучей.

http://mathesis.ru

399. Къ изслѣдованіямъ Гитторфа и Крукса тѣсно примыкаютъ изслѣдованія двухъ нѣмецкихъ физиковъ Герца и Ленарда. Генрихъ Герцъ (род. 1857 въ Гамбургѣ) учился въ Берлинѣ и былъ здѣсь ассистентомъ Гельмгольца. Пробывъ одинъ годъ приватъ-доцентомъ въ Килѣ, онъ въ 1885 году сталъ профессоромъ политехникума въ Карлсруэ. Спустя четыре года онъ получилъ приглашеніе въ Боннъ на мѣсто Клаузіуса. Здѣсь въ 1894 году онъ и умеръ, не достигнувъ даже 37 лѣтъ. Герцъ показалъ при помощи опытовъ, что электрическія колебанія (ср. § 300) распространяются въ пространствѣ въ видѣ волнъ или лучей электрической силы, притомъ съ такой же скоростью, съ какой распространяется свѣтъ. Герцъ доказалъ, что эти лучи совершенно такъ же, какъ и лучи свѣта, отражаются, преломляются и поляризуются, а другимъ изслѣдователямъ удалось обнаружить у лучей электрической силы явленія двойного преломленія, диффракціи и интерференціи. Опыты Герца представили экспериментальное подтвержденіе электромагнитной теоріи свѣта, которая была предложена Максвеллемъ и въ основѣ которой лежитъ предположеніе, что свѣтовыя колебанія являются колебаніями электромагнитными.—Что касается катодныхъ лучей, то Герцъ доказалъ между прочимъ, что эти лучи могутъ проходить сквозь тонкія металлическія пластинки. Опытъ, посредствомъ котораго это было доказано, состоялъ въ томъ, что въ Круксовой трубкѣ помѣщалась стеклянная пластинка, на половину закрытая листочкомъ золота, въ такомъ положеніи, что катодные лучи падали на обѣ ея половины. Когда лучи падали на пластинку и если золотой листокъ не былъ слишкомъ толстъ, то какъ открытая, такъ и покрытая часть стеклянной пластинки начинали флуоресцировать. Это открытіе имѣло важное значеніе для дальнѣйшихъ изслѣдованій, такъ какъ оно дало возможность вывести катодные лучи изъ Круксовой трубки наружу. Герцъ предложилъ изслѣдовать ближе эти соотношенія своему младшему товарищу Ленарду (въ то время въ Гейдельбергѣ, теперь въ Килѣ).

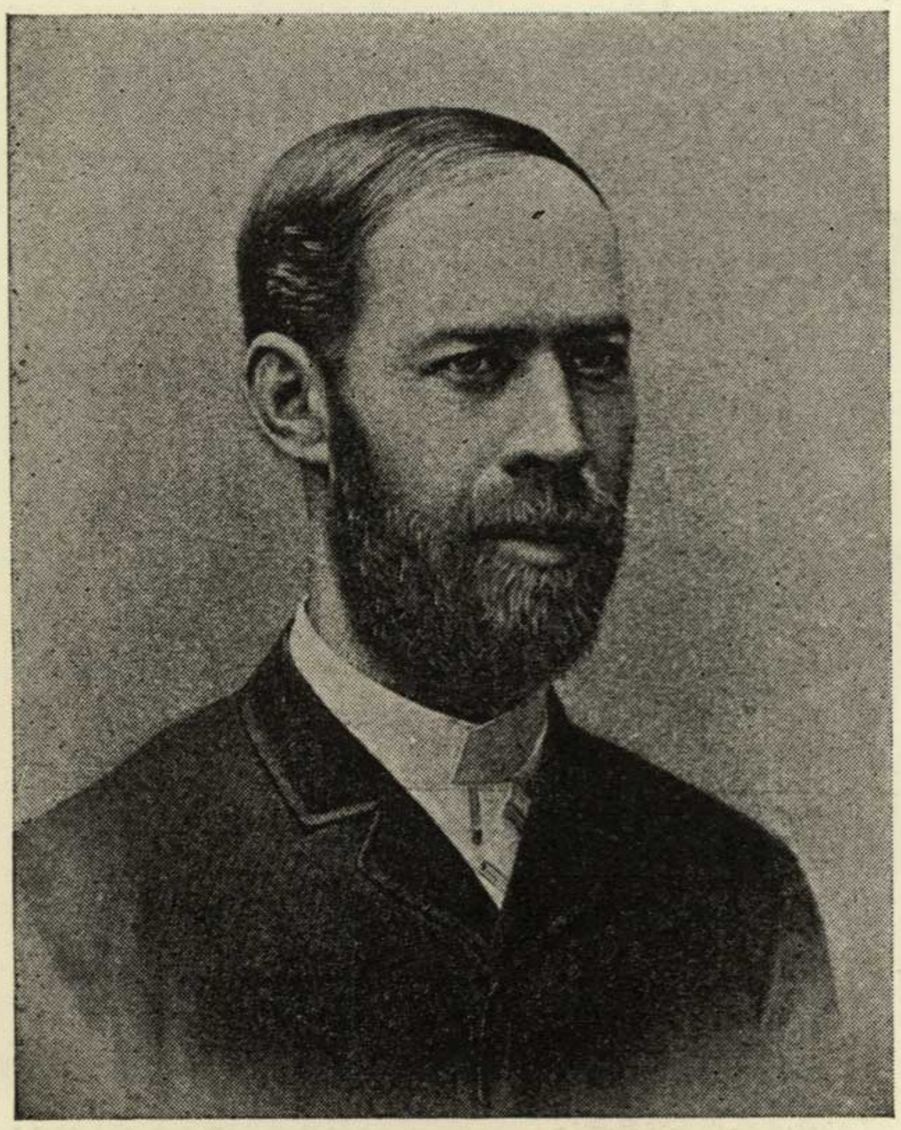
Рис. 341



Тепловое дѣйствіе катодныхъ лучей.

Примѣненный Ленардомъ при его изслѣдованіяхъ приборъ изображенъ на рис. 343. *B* представляетъ катодъ. Въ *F* стеклянная

Рис. 342

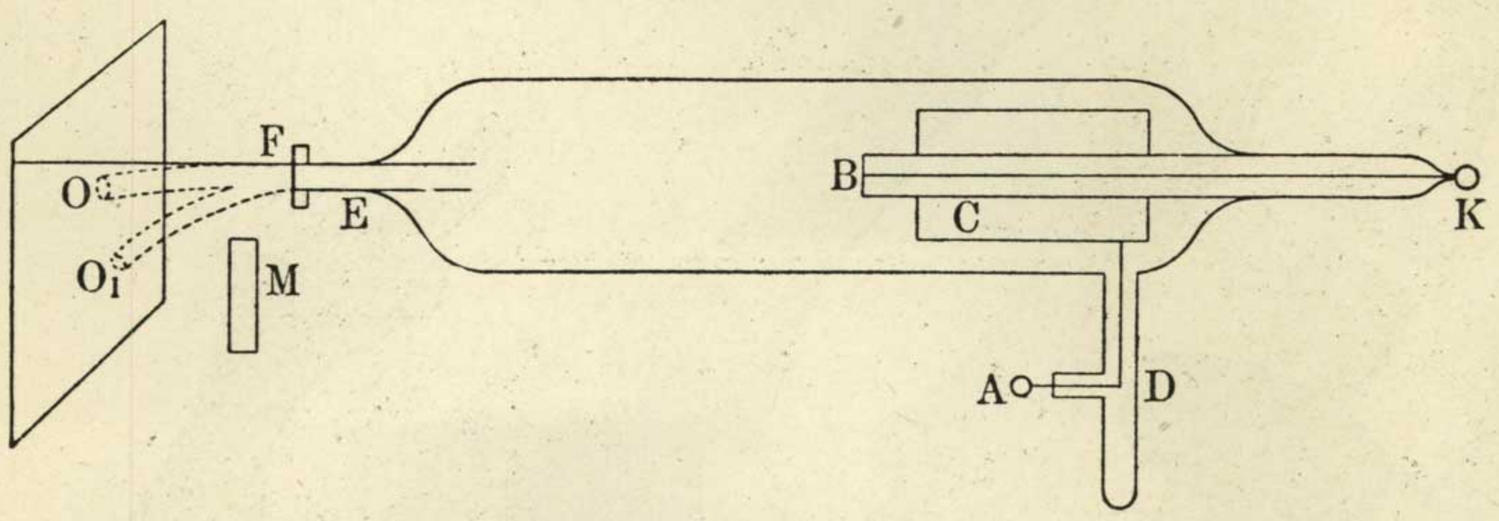


Генрихъ Герцъ.

трубка закрыта листикомъ алюминія толщиною въ $^1/_{400}$ *мм*. *O* представляетъ бумажный экранъ, покрытый платиново-синеродистымъ баріемъ. Какъ нашелъ Ленардъ, эта соль флуоресцируетъ чрезвычайно сильно, когда на нее падаютъ катодные лучи.

Если теперь соединить этотъ приборъ съ искровымъ индукторомъ такъ, чтобы въ *A* былъ анодъ, а въ *K* катодъ, то катодные лучи падаютъ на листокъ алюминія, проходятъ сквозь него и даютъ на экранѣ свѣтлое пятно *O*. Экранъ долженъ находиться недалеко отъ *F*, такъ какъ катодные лучи очень быстро поглощаются воздухомъ. Однако, дѣйствіе этихъ лучей простирается все же на разстояніе сантиметровъ въ 30 отъ *F*. Въ этомъ можно убѣдиться при помощи заряженнаго электроскопа, который теряетъ свое электричество, когда эти лучи падаютъ на его шарикъ. Катодные лучи дѣлаютъ воздухъ электропроводящимъ.

Рис. 343



Опытъ Ленарда.

Ленардъ показалъ, что магнитъ отклоняетъ катодные лучи какъ въ воздухѣ, такъ и въ безвоздушномъ пространствѣ. На рисункѣ *M* обозначаетъ магнитъ, подъ дѣйствіемъ котораго свѣтлое пятно перемѣщается изъ *O* въ O_1. Величина этого перемѣщенія различна при различной степени разрѣженія воздуха. Чѣмъ сильнѣе разрѣженъ воздухъ въ трубкѣ, тѣмъ меньше отклоняются магнитомъ катодные лучи. Существуютъ различные виды катодныхъ лучей. Ленардъ наблюдалъ, что иногда можно отклонить повидимому только часть катодныхъ лучей. Впрочемъ, онъ не обратилъ особеннаго вниманія на это наблюденіе. Еслибы онъ сдѣлалъ это, то, можетъ быть, ему удалось бы сдѣлать то открытіе, которымъ въ концѣ 1895 года профессоръ Рёнтгенъ въ Вюрцбургѣ поразилъ міръ.

400. При опытахъ съ Гитторфовыми трубками Рёнтгенъ (род. 1845 въ Леннепѣ) окружилъ одну изъ такихъ трубокъ коробкой изъ чернаго картона. Пропуская сквозь эту трубку разрядъ искрового индуктора, онъ замѣтилъ отчетливую флуоресценцію на сосѣднемъ бумажномъ экранѣ, покрытомъ платиново-синеродистымъ баріемъ, даже когда экранъ находился на разстояніи 2 *м* отъ трубки. Такимъ образомъ, сквозь картонъ проходило что-то, вызывавшее флуоресценцію платиновой соли. Это не могли быть катодные лучи, такъ какъ они не проходятъ сквозь картонъ. Изъ своихъ наблюденій Рёнтгенъ нашелъ, что открытые имъ лучи, которые онъ назвалъ иксъ-лучами, проходятъ не только сквозь болѣе толстые слои бумаги, напримѣръ, сквозь книгу въ 1000 страницъ, но и сквозь доски въ нѣсколько сантиметровъ толщиной, сквозь алюминіевыя пластинки до 15 *мм* толщиной, сквозь пластинки эбонита и стекла, которыя помѣщались между разрядной трубкой и экраномъ. Онъ нашелъ, что всѣ тѣла безъ исключенія проницаемы для этихъ лучей, хотя въ различной степени. Тѣла вообще проницаемы тѣмъ меньше, чѣмъ они плотнѣе. А что дѣй-

http://mathesis.ru

ствіе, исходившее изъ трубки, представляло собой излученіе, это доказывалось полученіемъ при этомъ дѣйствіи тѣней. Если держать руку между трубкой и препарированной бумагой, то на послѣдней получается такъ называемое тѣневое изображеніе

Рис. 344



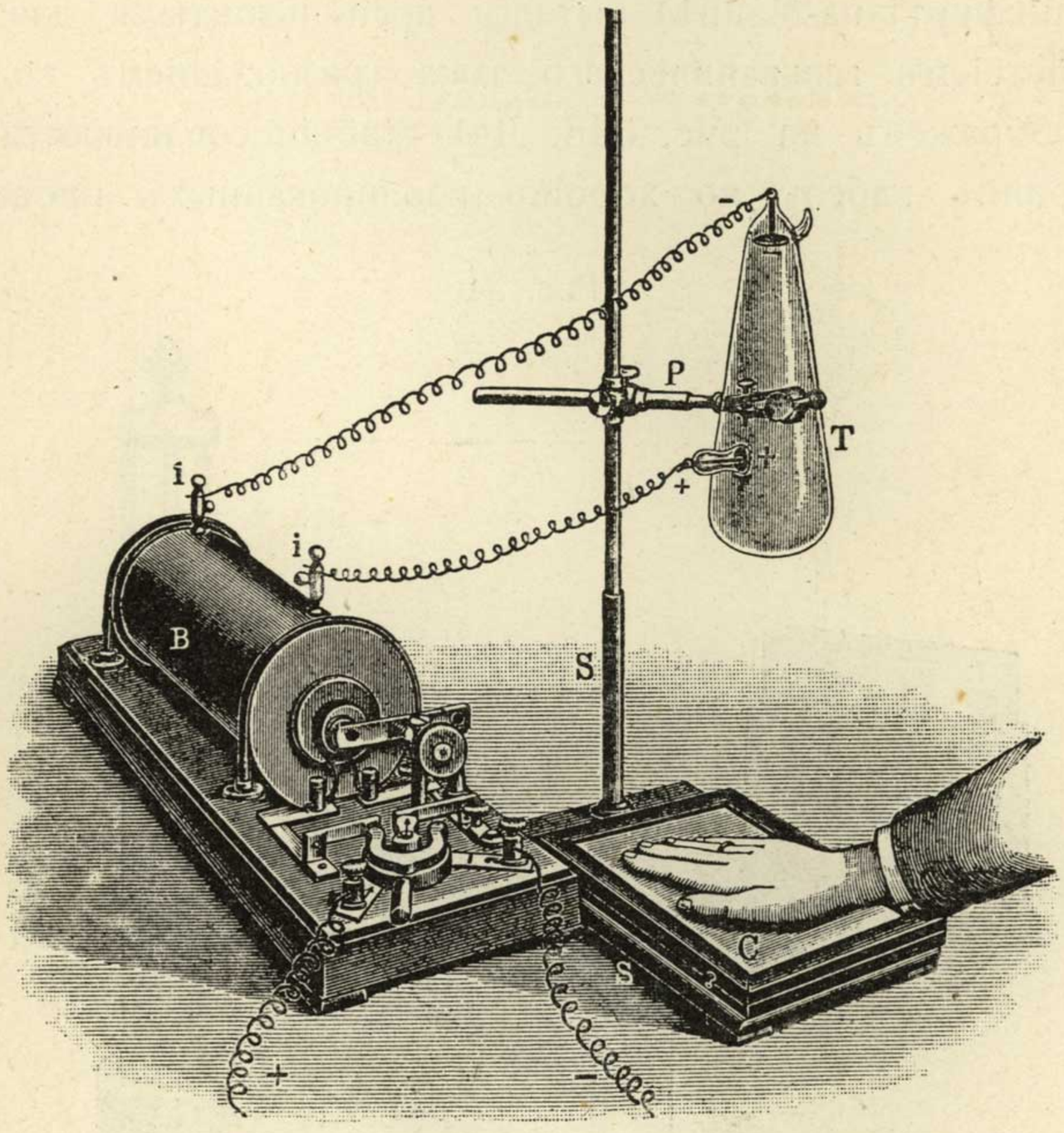
Рёнтгенографія руки.

руки. А именно, мягкія части руки ослабляютъ флуоресценцію гораздо меньше, чѣмъ кости. Въ такомъ тѣневомъ изображеніи очень легко видѣть строеніе костей (рис. 344).

Рёнтгенъ самъ задалъ вопросъ, не представляютъ ли эти лучи особаго рода катодныхъ лучей. Онъ отвѣтилъ на этотъ вопросъ отрицательно, такъ какъ катодные лучи не проходятъ въ атмосферный воздухъ почти безъ ослабленія, какъ его *X*-лучи, и такъ какъ катодные лучи отклоняются магнитомъ, который не оказываетъ никакого дѣйствія на лучи Рёнтгена.

Для дальнѣйшаго изслѣдованія Рёнтгеновскихъ лучей имѣло важное значеніе то обстоятельство, что обыкновенныя сухія фотографическія пластинки чувствительны

Рис. 345



Фотографированіе лучами Рёнтгена.

къ этимъ лучамъ, такъ что ими можно фотографировать совершенно такъ же, какъ и свѣтовыми лучами. При фотографическихъ снимкахъ Рёнтгеновскими лучами чувствительную пластинку можно помѣщать въ непроницаемую для свѣта деревянную кассету, такъ какъ для этихъ лучей дерево прозрачно. Такимъ образомъ, при фотографированіи Рёнтгеновскими лучаминѣтъ необходимости затемнять комнату. Фотографированіе этими лучами изображено на рис. 345. Въ кассетѣ *C* находится фотографическая пластинка.

Телеграфія и телефонія

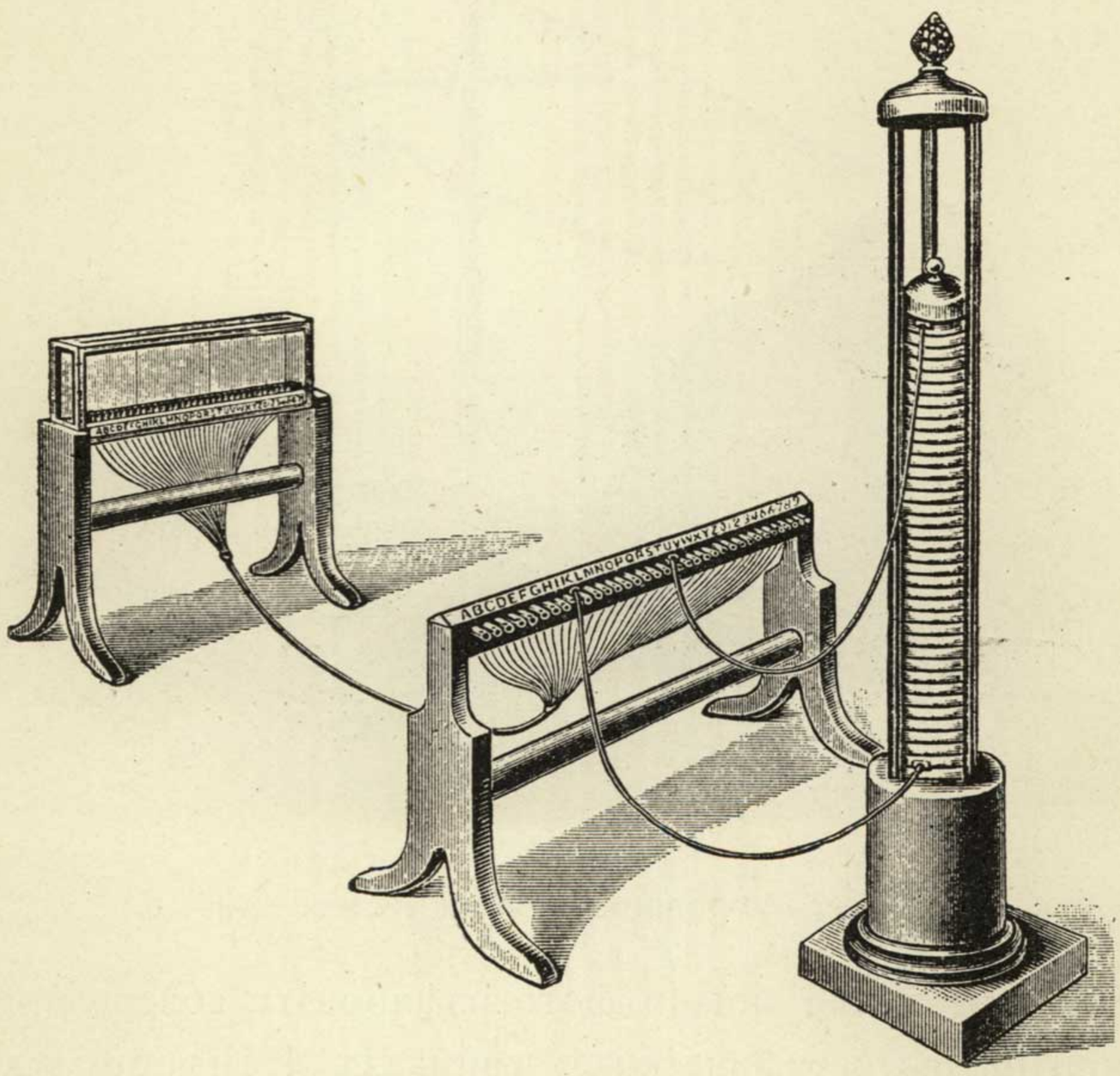
401. Въ концѣ XVIII столѣтія въ различныхъ странахъ былъ въ употребленіи оптическій телеграфъ, изобрѣтенный Клодомъ Шаппомъ (1763—1805). Онъ состоялъ изъ сигнальныхъ мачтъ съ подвижными штангами, какія употребляются еще и теперь въ желѣзно-дорожномъ дѣлѣ (семафоры). Различныя буквы обозначались различными положеніями этихъ штангъ. Въ 1793 году французское правительство построило такой

http://mathesis.ru

телеграфъ изъ Парижа въ Лилль (30 миль). Передача одного знака требовала двухъ минутъ и онъ передавался черезъ 20 станцій.

Около того же времени были сдѣланы и первыя попытки воспользоваться для телеграфированія электричествомъ. Было извѣстно, что электричество движется по металлической проволокѣ чрезвычайно быстро. Такимъ образомъ, при помощи проволочныхъ проводовъ можно было бы передавать на далекія разстоянія разрядъ кондуктора электрической машины или лейденской банки. Однако, ни одинъ изъ множества проектовъ этого рода не былъ осуществленъ. Большое значеніе для этихъ проектовъ имѣло изобрѣтеніе Вольтова столба. Зёммерингъ (род. 1765 въ Торнѣ, ум. 1830 во Франкфуртѣ-на-Майнѣ) пытался воспользоваться для телеграфированія химическимъ дѣйствіемъ гальваническаго тока (разложеніемъ воды). Построенный имъ приборъ изображенъ на рис. 346. Двѣ станціи соединяются посредствомъ 35 связанныхъ въ одинъ кабель, но хорошо изолированныхъ проволокъ. Проволока,

Рис. 346



Телеграфъ Зёммеринга.

выходившая изъ *A*, соединялась съ *A*, выходившая изъ *B* соединялась съ *B* и т. д. Токъ Вольтова столба можно было замыкать тѣмъ или инымъ способомъ, напримѣръ, такъ, чтобы онъ проходилъ по проволокамъ *JJ* и *SS*, какъ указано на рисункѣ. Пріемный аппаратъ по существу представлялъ собою приборъ для разложенія воды. Онъ имѣлъ 35 вызолоченныхъ металлическихъ остроконечій, соединявшихся съ 35 проводами, съ каждымъ отдѣльно. Когда токъ замыкался посредствомъ проволокъ *JJ* и *SS*, то на соотвѣтствующихъ этимъ буквамъ металлическихъ остріяхъ показывались пузырьки газа.

402. Телеграфъ Зёммеринга не нашелъ примѣненія на практикѣ. Дѣйствительно пригодные электрическіе телеграфы удалось построить только послѣ того, какъ Эрстедъ открылъ электромагнитизмъ. Еще въ томъ самомъ году, въ которомъ

http://mathesis.ru

было сдѣлано это открытіе (1820), Амперъ предлагалъ воспользоваться для устройства телеграфа дѣйствіемъ тока на магнитную стрѣлку. Онъ такъ же, какъ Зёммеринг, проекта котораго онъ совершенно не зналъ, думалъ воспользоваться отдѣльнымъ проводомъ для каждой буквы. Каждый изъ этихъ проводовъ долженъ былъ соединяться съ металлическимъ цилиндромъ и стрѣлки мультипликаторовъ должны были своими колебаніями указывать соотвѣтственныя буквы.

Значительное улучшеніе въ этотъ телеграфъ со стрѣлкой внесъ русскій П. Л. фонъ-Шиллингъ-Канштаттъ (1786—1837), который нѣкоторое время находился въ составѣ русскаго посольства въ Мюнхенѣ и здѣсь познакомился съ Зёммерингомъ. Его улучшеніе состояло въ томъ, что онъ пользовался не большимъ числомъ проводовъ, а только двумя, по одному изъ которыхъ токъ шелъ въ одну сторону, а по другому возвращался назадъ. Когда токъ замыкался при томъ или другомъ его направленіи, стрѣлка отклонялась вправо или влѣво.

Почти одновременно съ Шиллингомъ-Канштаттомъ къ той же мысли пришли также Гауссъ и Веберъ въ Гёттингенѣ. Въ 1833 году они связали обсерваторію и физическій институтъ университета телеграфомъ со стрѣлкой. Провода шли на разстояніе около одного километра.

Буквы и цифры выражались слѣдующими сочетаніями отклоненій стрѣлки вправо и влѣво. Въ слѣдующей таблицѣ *r* означаетъ одно отклоненіе вправо, а *l* одно отклоненіе влѣво.

r = a	*lll* = h	*rlrl* = 0
l = e	*llr* = l	*rllr* = 1
rr = i	*lrl* = m	*lrrl* = 2
rl = o	*rll* = n	*lrlr* = 3
lr = u	*rrrr* = p	*llrr* = 4
ll = b	*rrrl* = r	*lllr* = 5
rrr = c (k)	*rrlr* = s	*llrl* = 6
rrl = d	*rlrr* = t	*lrll* = 7
rlr = f (v)	*lrrr* = w	*rlll* = 8
lrr = g	*rrll* = z	*llll* = 9

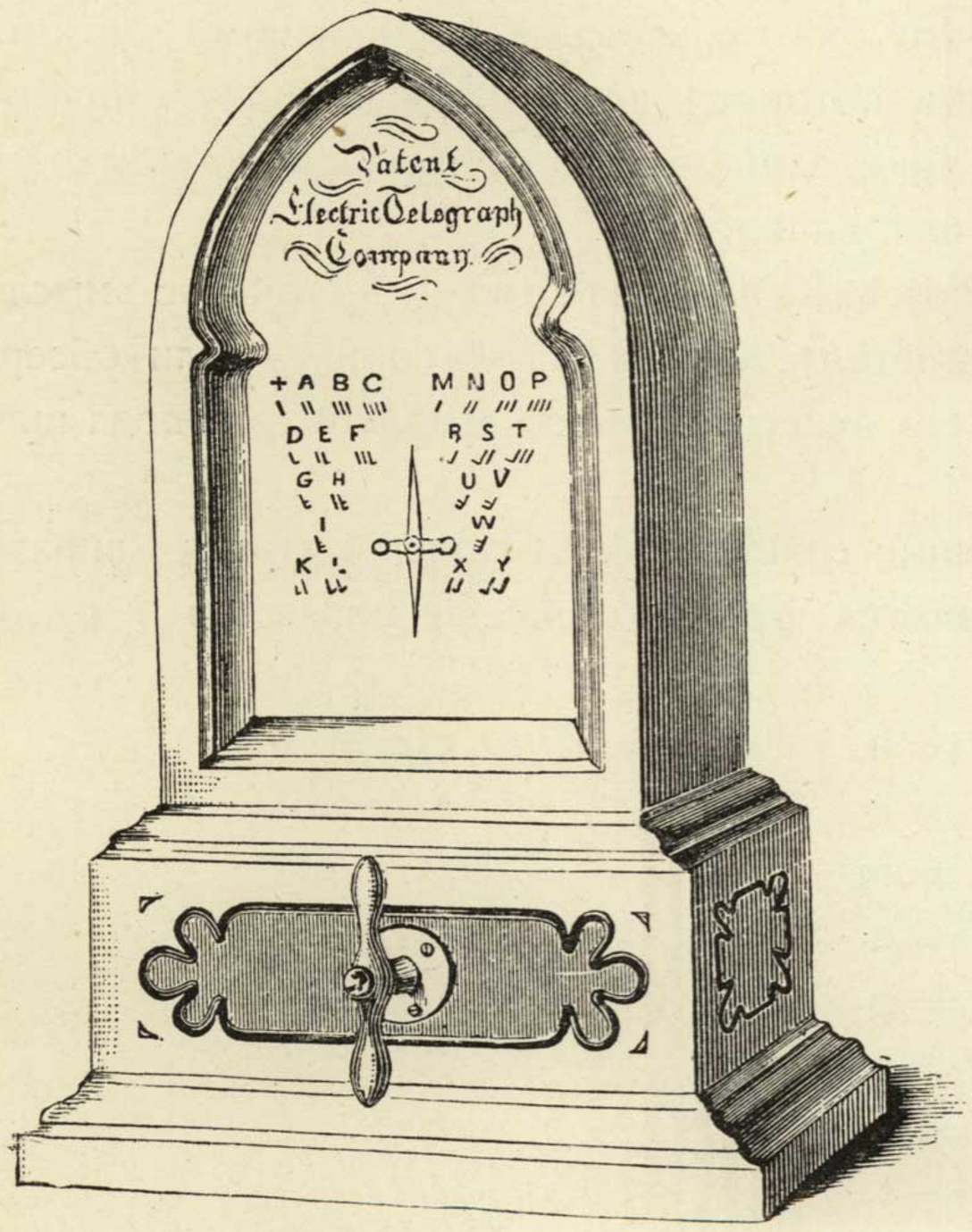
Телеграфъ былъ значительно улучшенъ профессоромъ Штейнгейлемъ въ Мюнхенѣ (1801—1870), который въ 1837 году установилъ телеграфное соединеніе между Мюнхеномъ (Академія) и Богенгаузеномъ (Обсерваторія). Эти двѣ станціи находились на разстояніи $^3/_4$ мили другъ отъ друга. Подобно Гауссу съ Веберомъ, и Штейнгейль пользовался для полученія своихъ знаковъ магнитоэлектрическими токами. Пріемный аппаратъ былъ устроенъ такъ, что колебанія магнитныхъ стрѣлокъ отмѣчали точки на полоскѣ бумаги, которая двигалась при помощи часового механизма. Такимъ образомъ, Штейнгейля можно назвать первымъ изобрѣтателемъ печатающаго телеграфа. Затѣмъ Штейнгейль сдѣлалъ важное наблюденіе, что для телеграфированія между двумя станціями достаточно только одного провода. Въ одной изъ своихъ телеграфныхъ установокъ онъ воспользовался для обратной отводки тока рельсами желѣзной дороги. Однажды, когда рельсы были гдѣ-то разъединены, онъ замѣтилъ, что несмотря на это телеграфъ можетъ работать. Отсюда онъ сдѣлалъ выводъ, что обратная отводка тока можетъ быть сдѣлана черезъ землю.

Дальнѣйшія улучшенія въ телеграфъ со стрѣлкой внесли Витстонъ и Кукъ

http://mathesis.ru

въ Англіи, гдѣ ихъ телеграфъ употребляется еще и теперь. Внѣшній видъ такого телеграфа со стрѣлкой показанъ на рис. 347. Внутри коробки въ вертикальномъ положеніи находится стрѣлка мультипликатора, которая можетъ колебаться около горизонтальной оси. На общей оси со стрѣлкой мультипликатора находится видимая внѣ коробки стрѣлка, которая колеблется одинаково съ первой. Видимая на рисункѣ рукоятка (внизу) служитъ для замыканія, размыканія и обращенія тока. Отдѣльныя части прибора такъ соединены другъ съ другомъ, что стрѣлка всегда дѣлаетъ такое же движеніе, какое производится рукояткой.

Рис. 347



Телеграфъ со стрѣлкой.

Какъ можно видѣть на рисункѣ, буква *A* изображается двумя отклоненіями влѣво, *N* двумя отклоненіями вправо, *R* однимъ отклоненіемъ влѣво и однимъ вправо и т. д.

Другой родъ телеграфа, изобрѣтенный также Витстономъ, есть телеграфъ съ циферблатомъ. Этотъ телеграфъ устроенъ такъ, что послѣдовательнымъ размыканіемъ и замыканіемъ тока можно съ отдаленной станціи приводить въ движеніе и останавливать на любомъ мѣстѣ циферблата, т. е. на любой буквѣ или цифрѣ, особый указатель (*Z*, рис. 348). До введенія во всеобщее употребленіе печатающаго телеграфа Морза, въ различныхъ странахъ были въ ходу различные телеграфы съ циферблатомъ, напримѣръ, въ Германіи телеграфъ Сименса и Гальске, во Франціи телеграфъ Бреге.

403. Самюэль Морзъ (род. 1791 въ Чарльзтоунѣ, Массачусетсъ, ум. 1872 въ Нью-Іоркѣ) посвятилъ себя живописи; въ 1811 году онъ пріѣхалъ въ Лондонъ и здѣсь посѣщалъ школу живописи. Что онъ не былъ лишенъ таланта, можно видѣть изъ того, что уже въ 1813 году онъ выставилъ въ Королевской Академіи въ Лондонѣ большую картину, удостоенную золотой медали. По окончаніи ученія онъ вернулся въ Америку, жилъ здѣсь въ различныхъ городахъ, основалъ въ Нью-Іоркѣ общество художниковъ и думалъ всецѣло отдаться искусству. Но ему пришлось бороться съ затрудненіями и работать, какъ ремесленнику, для снисканія себѣ пропитанія.

Зимою 1826/7 года Морзъ прослушалъ рядъ публичныхъ лекцій объ электричествѣ. Это натолкнуло его на размышленія о примѣненіяхъ электромагнитизма. Въ 1829 году онъ предпринялъ второе путешествіе въ Англію для ознакомленія съ тамошними школами рисованія. Въ то время въ Англіи стоялъ на очереди вопросъ объ электрической телеграфіи и Морзъ живо заинтересовался имъ. Проектъ своего пишущаго телеграфа онъ набросалъ въ 1832 году на обратномъ пути въ Америку. Трудно сказать, какое вліяніе оказали на него опыты и проекты, дѣлавшіеся въ томъ

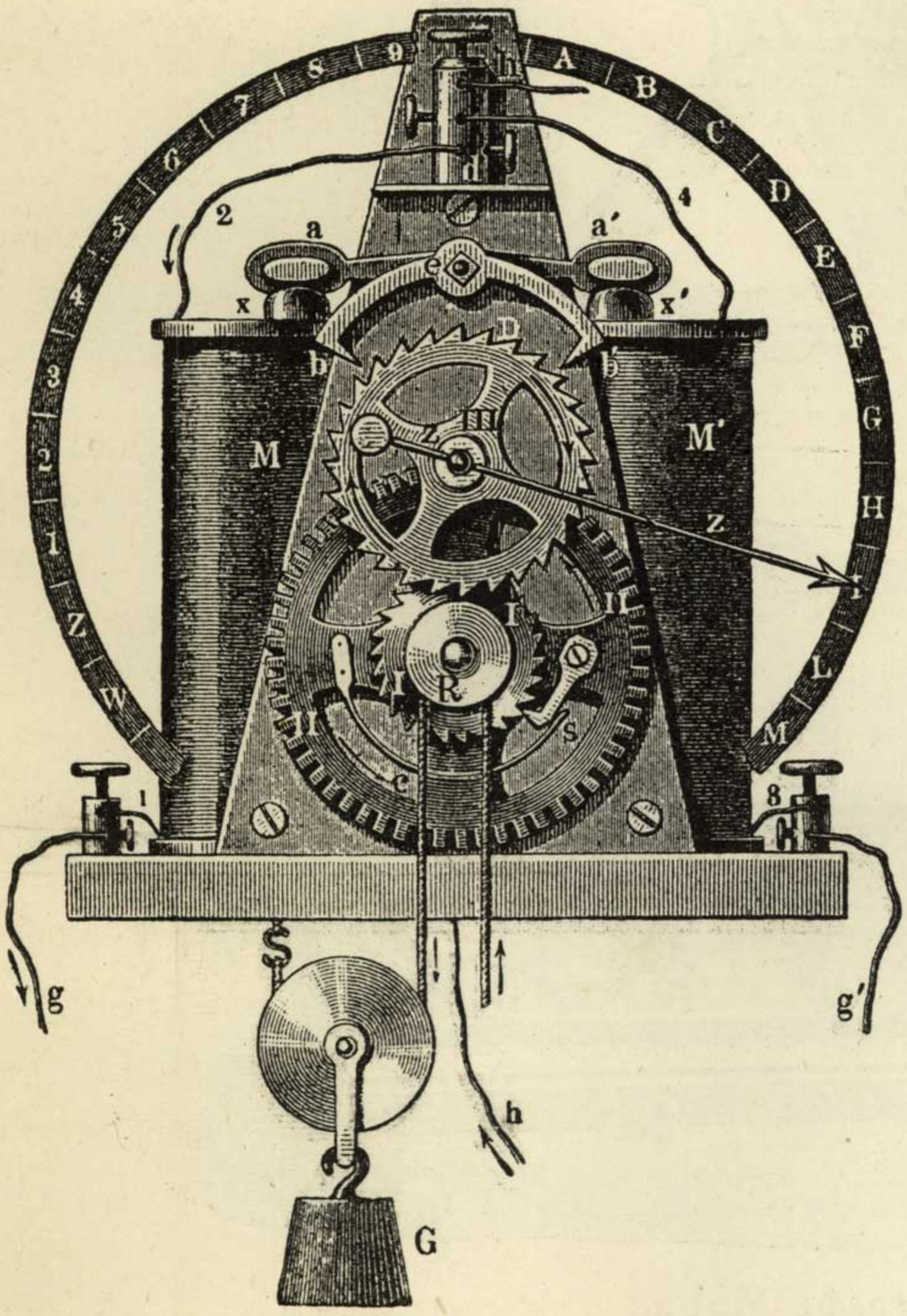
http://mathesis.ru

же направленіи другими. Но во всякомъ случаѣ ему принадлежитъ заслуга приданія пишущему телеграфу практически удобной формы.

Первые телеграфные аппараты, построенные Морзомъ, были нѣсколько неуклюжи, но вскорѣ онъ самъ улучшилъ ихъ. Нынѣшнюю форму этихъ приборовъ можно видѣть на рис. 349 и 350. Первый рисунокъ представляетъ пишущій аппаратъ, а второй „клавишу“, служащую для замыканія тока, въ $^1/_3$ естественной величины.

Когда токъ замыкается, желѣзные сердечники электромагнита *E* намагничиваются и его якорь *o* притягивается. Вслѣдствіе этого штифтъ *s* на другомъ концѣ рычага *nn* давитъ на бумажную полоску, которую тянутъ подъ остріемъ штифта два валика, приводимые въ движеніе часовымъ механизмомъ. Верхній валикъ на томъ мѣстѣ, гдѣ приходится штифтъ (въ серединѣ), снабженъ желобкомъ. Штифтъ производитъ въ бумагѣ углубленіе, притомъ точку или черточку, смотря по тому, былъ ли замкнутъ токъ только одно мгновеніе или нѣсколько дольше. Знаки для различныхъ буквъ и цифръ состоятъ изъ сочетаній точекъ и черточекъ. Въ употребляющихся теперь телеграфныхъ приборахъ Морза знаки состоятъ, впрочемъ, не изъ углубленій въ бумагѣ, какъ въ прежнихъ приборахъ, а изъ цвѣтныхъ черточекъ и точекъ. Послѣднія получаются тѣмъ, что полоска бумаги прижимается рычагомъ къ валику съ краской.

Рис 348



Витстоновъ телеграфъ съ циферблатомъ.

Рис. 351 показываетъ, какъ соединяются между собою приборы двухъ станцій. Чертежъ сдѣланъ такъ, что *A* представляетъ станцію, отправляющую депешу, а *A′* станцію, принимающую телеграмму. На этомъ рисункѣ *s* означаетъ клавишу, *g* гальванометръ, *m* электромагнитъ пишущаго аппарата, *b* батарею для линіи и *P* пластинку въ землѣ. Разсмотрѣвъ этотъ рисунокъ, легко убѣдиться въ томъ, что при нажимѣ клавиши *s* токъ батареи *b* замыкается, притомъ такъ, что онъ долженъ пройти по проводу и по обмоткѣ электромагнита пріемной станціи.

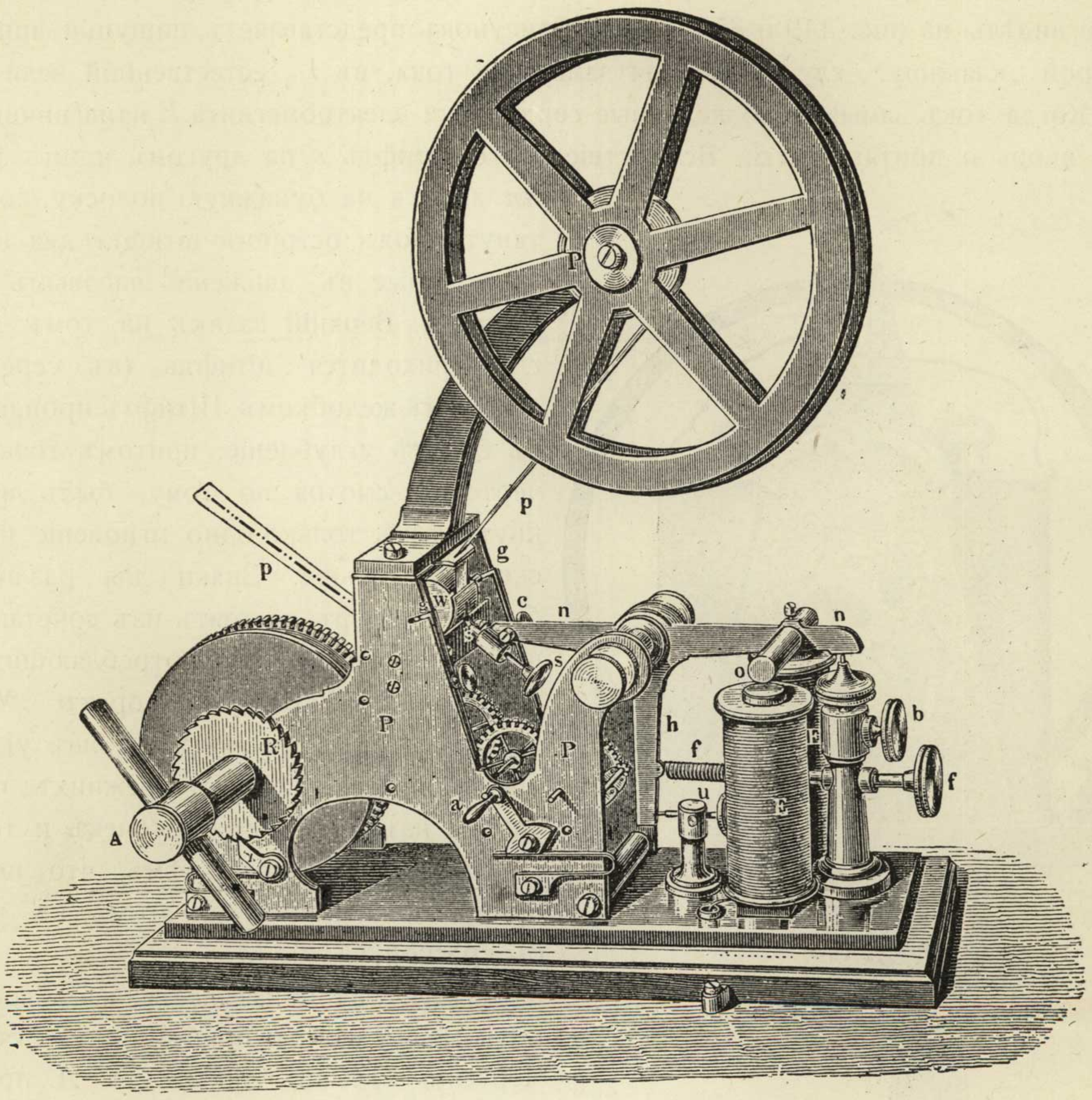
Въ большинствѣ случаевъ при телеграфированіи на пишущемъ телеграфѣ токъ, идущій по проводу, не проходитъ чрезъ электромагнитъ пріемной станціи, какъ это изображаетъ рисунокъ, а дѣйствуетъ только на такъ называемое релэ, которое замыкаетъ токъ другой батареи, такъ называемой мѣстной. Токъ этой мѣстной батареи и приводитъ въ движеніе пишущій аппаратъ. Токъ „батареи на линію“ въ большинствѣ случаевъ недостаточно силенъ, чтобы приводить въ движеніе пишущій аппаратъ.

Наряду съ пишущимъ телеграфомъ Морза въ настоящее время, особенно на

http://mathesis.ru

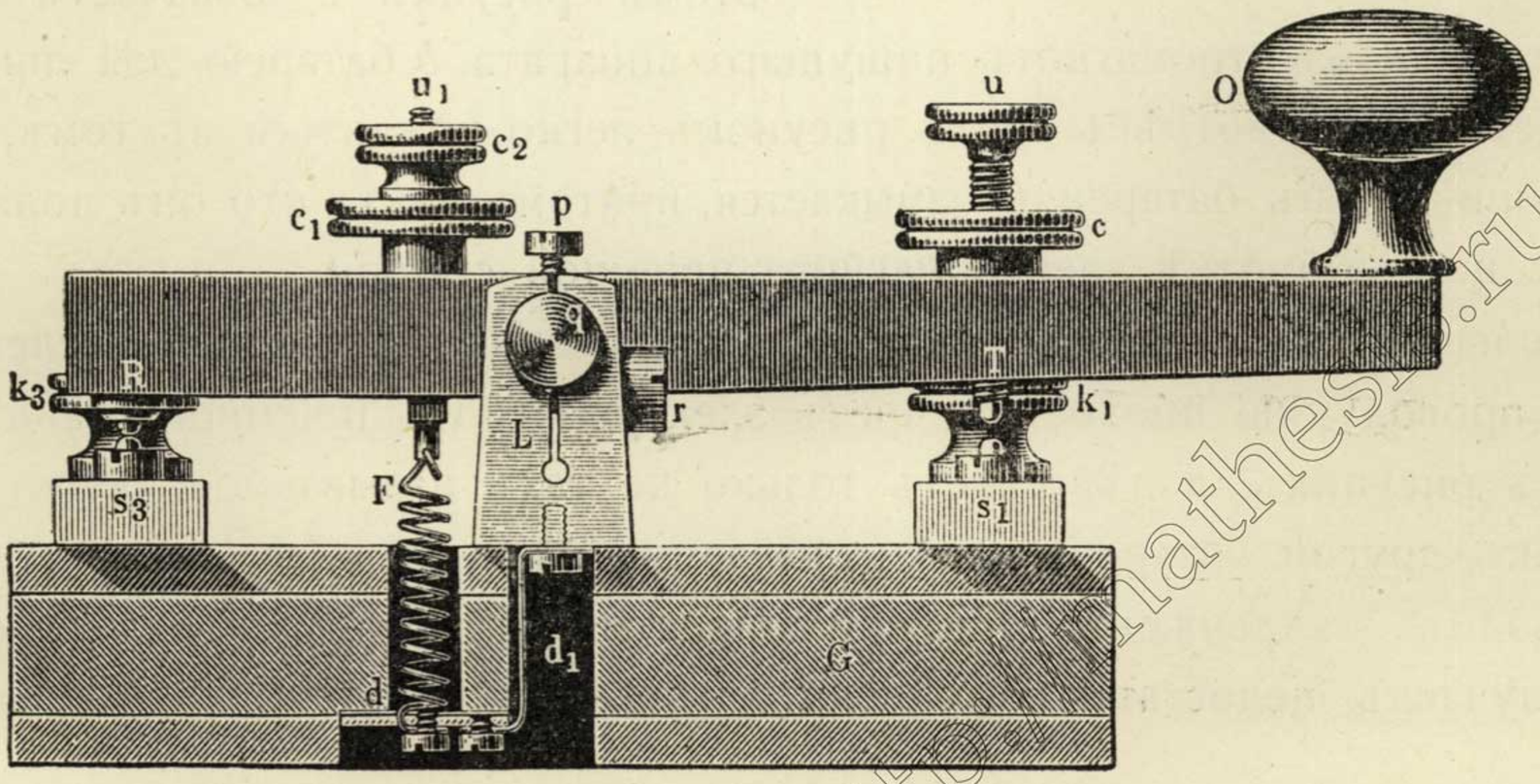
всѣхъ болѣе крупныхъ телеграфныхъ станціяхъ, примѣняется печатающій телеграфъ, изобрѣтенный Юзомъ (род. 1831 въ Лондонѣ). Онъ имѣетъ передъ при-

Рис. 349



Пишущій телеграфъ Морза.

Рис. 350



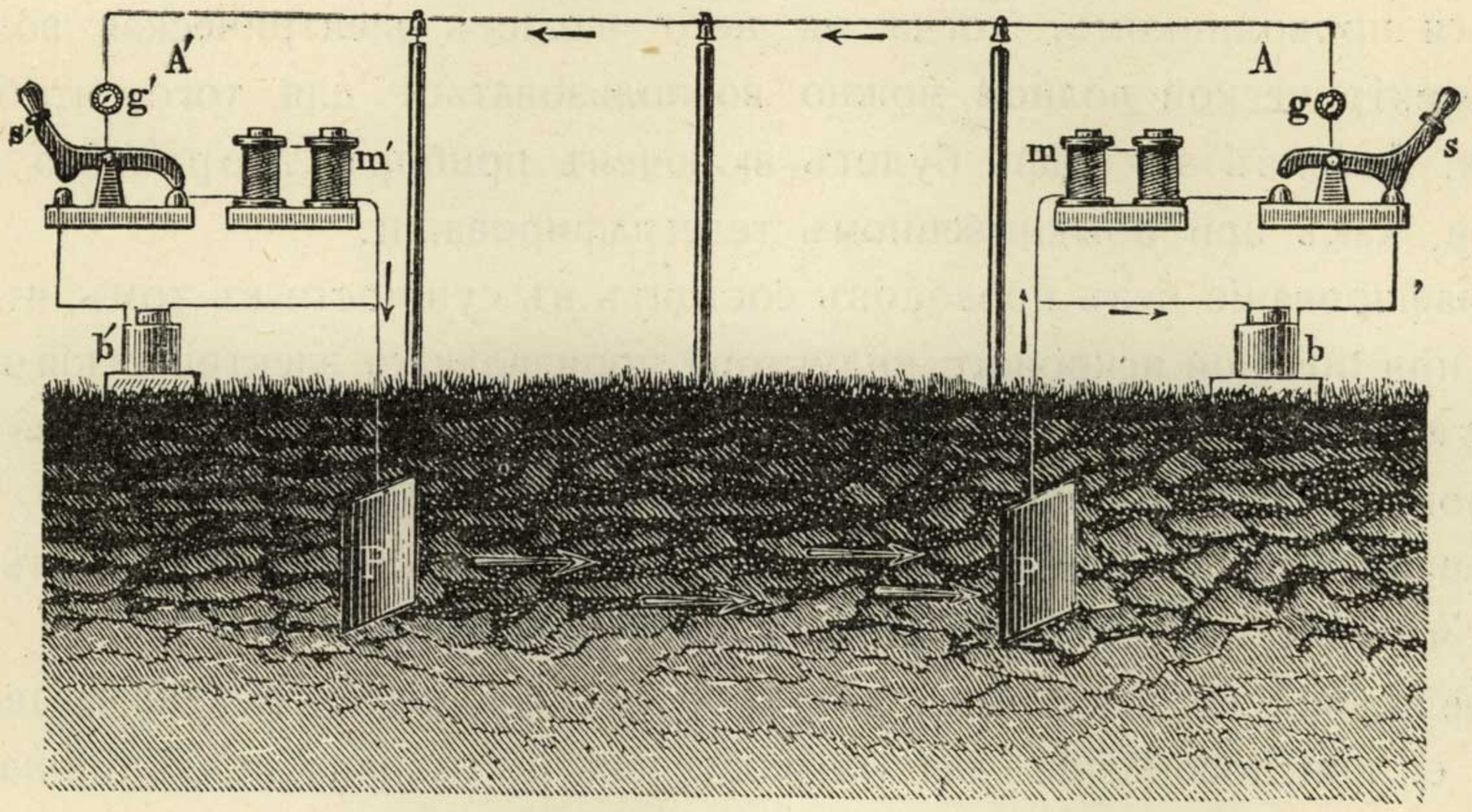
Клавиша къ телеграфу Морза.

http://mathesis.ru

боромъ Морза не только то преимущество, что работаетъ скорѣе, но еще больше то, что печатаетъ депешу не точками и черточками, а обыкновенными латинскими буквами. Здѣсь нѣтъ возможности дать описаніе этого очень сложнаго телеграфа. Читатель, который пожелалъ бы ознакомиться съ особенностями этого и другихъ телеграфовъ, не упомянутыхъ здѣсь, долженъ обратиться къ подробнымъ трудамъ по телеграфіи.

Штейнгейль нашелъ, что землею можно пользоваться, какъ проводомъ. Это надо понимать не въ томъ смыслѣ, что отъ пластинки въ землѣ на одной станціи

Рис 351

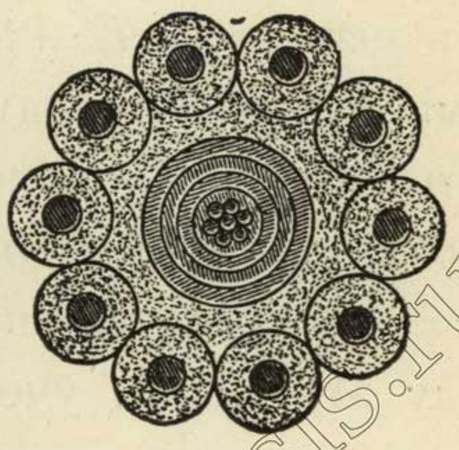


Соединеніе двухъ телеграфныхъ станцій.

идетъ токъ къ пластинкѣ другой станціи. Такъ могло бы быть только при очень короткихъ разстояніяхъ. При болѣе же значительныхъ разстояніяхъ пластинка въ землѣ служитъ только для отвода электричества съ того полюса батареи, который не соединяется съ линіей.

Большія затрудненія пришлось преодолѣвать не только при конструкціи телеграфныхъ приборовъ, но также и при проводкѣ линіи. На сушѣ обыкновенно бываетъ достаточно укрѣплять провода на столбахъ, изолируя ихъ фарфоровыми стаканчиками. Но если проводъ долженъ соединять два берега и долженъ для этого погружаться въ воду, то проволоку приходится одѣвать изолирующей и вмѣстѣ съ тѣмъ защищающей оболочкой. Рис. 350 показываетъ разрѣзъ трансатлантическаго кабеля. Сердцевину этого кабеля составляетъ проводъ, обыкновенно не одна проволока, а нѣсколько скрученныхъ вмѣстѣ. Этотъ проводъ окруженъ слоемъ гуттаперчи, а послѣдняя слоемъ просмоленной пеньки. Все это обвито толстой желѣзной проволокой. Благодаря этому кабель пріобрѣтаетъ надлежащую крѣпость, необходимую для того, чтобы не разорваться при погруженіи въ воду. Кромѣ того желѣзная оболочка служитъ защитой отъ поврежденій со стороны морскихъ животныхъ.

Рис. 352



Трансатлантическій кабель.

Знаки, которые передаются трансатлантическимъ телеграфомъ, состоятъ въ отклоненіи стрѣлки чрезвычайно чувствительнаго гальванометра.

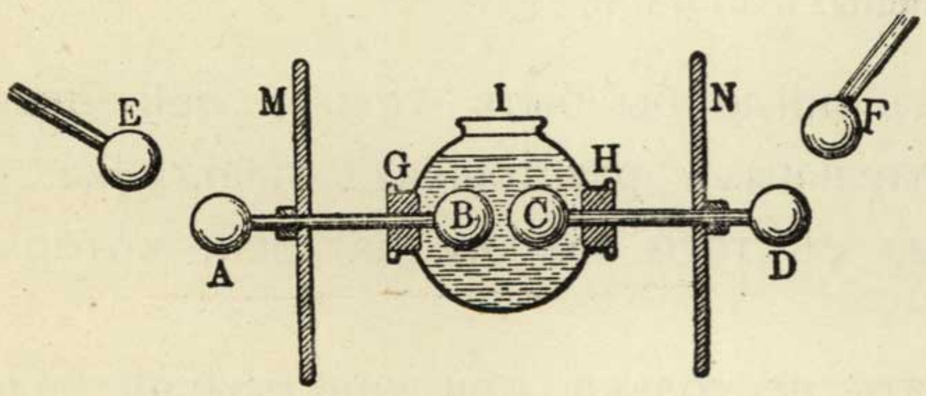
http://natlesis.ru

404. Послѣ того какъ Герцъ (§ 399) открылъ электрическія волны, нетрудно было придти къ мысли воспользоваться этими волнами для передачи электрическихъ сигналовъ, т. е. для телеграфированія безъ проводовъ. Однако, произведенные въ этомъ направленіи опыты привели къ практически приложимымъ результатамъ только послѣ того, какъ Бранли въ Парижѣ изобрѣлъ въ 1890 году такъ называемый когэреръ (или фриттеръ). Послѣдній по существу состоитъ изъ стеклянной трубки, часть которой наполнена металлическимъ порошкомъ (серебро, никель), помѣщеннымъ между двумя металлическими пластинками. Металлическій порошокъ не проводитъ электричества. Поэтому, если включить когэреръ въ цѣпь какого-нибудь источника тока, то токъ не замыкается. Но металлическій порошокъ имѣетъ свойство дѣлаться проводникомъ, когда на него падаетъ электрическая волна. Такимъ образомъ, электрической волной можно воспользоваться для того, чтобы замыкать токъ издали. Если въ эту цѣпь будетъ включенъ приборъ Морза, то онъ будетъ давать знаки, какъ при обыкновенномъ телеграфированіи.

Телеграфированіе безъ проводовъ состоитъ въ сущности въ томъ, что на станціи отправленія при помощи искрового индуктора производятся электрическія искры, которыя дѣйствуютъ на когэреръ пріемной станціи указаннымъ образомъ. Для того чтобы когэреръ могъ воспринять новый сигналъ, послѣ каждаго отдѣльнаго сигнала его нужно возвращать къ первоначальному состоянію ударомъ, т. е. дѣлать его непроводникомъ, что выполняется пріемнымъ аппаратомъ автоматически.

Въ соединеніи съ искровымъ индукторомъ находится такъ называемый осциллъяторъ, т. е. приспособленіе для (колебательнаго) разряда индукціоннаго прибора.

Рис. 353



Трех-искровой осцилляторъ.

Уже Герцъ пользовался при своихъ опытахъ такого рода осцилляторами. Особенно цѣлесообразную для искровой телеграфіи форму ихъ предложилъ Риги въ Болоньѣ. Первоначальная форма этого такъ называемаго трехискрового осциллятора изображена на рис. 353. Искра проскакиваетъ между шариками *B* и *C*, окруженными изолирующей массой (тяжелое минеральное масло). Эти шарики заряжаются тѣми искрами, которыя проскакиваютъ отъ шариковъ *E* и *F* къ шарикамъ *A* и *D*. Шарики *E* и *F* соединяются съ полюсами искрового индуктора. Для передачи волнъ оказалось цѣлесообразнымъ соединять одинъ изъ двухъ шариковъ съ землею, а другой съ подвѣшенной на изоляторахъ длинной проволокой, такъ называемой антенной.

Первые успѣшные опыты съ телеграфіей безъ проводовъ произвелъ въ 1897 году Маркони, ученикъ Риги. При помощи названныхъ приборовъ ему удалось передать депеши черезъ Бристольскій каналъ (15 *км*). Въ настоящее время искровой телеграфіей на разстояніе около 150 *км* пользуются для сообщенія между судами, а также между судами и берегомъ. Маркони даже подтвердилъ непосредственнымъ опытомъ, что при помощи безпроводной телеграфіи возможно передавать извѣстія изъ Англіи черезъ Атлантическій океанъ въ Сѣверную Америку.

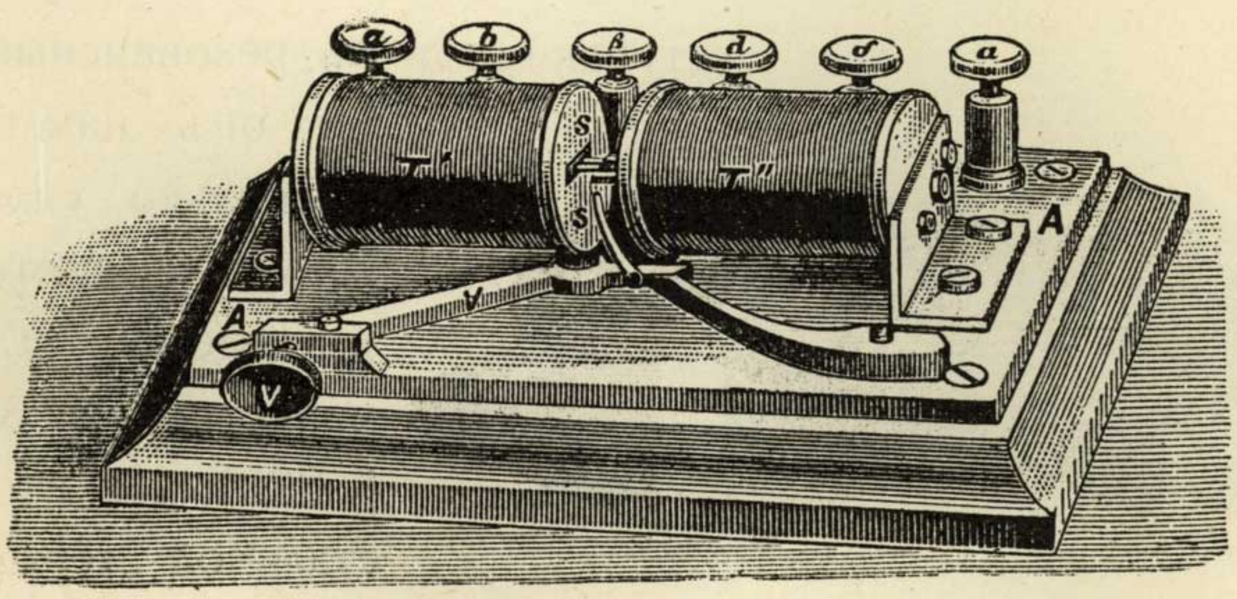
405. Въ заключеніе нужно упомянуть еще объ одномъ видѣ телеграфіи, представляющемъ соединительное звено между телеграфіей и телефоніей, а именно о фонотелеграфіи.

http://mathesis.ru

Различные физики, въ томъ числѣ Йэтсъ въ Дублинѣ (1856) и Кромвелль Варли въ Лондонѣ (1870), пытались при помощи колеблющихся пластинокъ и металлическихъ язычковъ посылать токъ по металлическимъ проводамъ правильными толчками, а Пауль Лакуръ[1]) выработалъ (1875) полную систему телеграфа, въ которомъ примѣнены правильные волновые токи.

Чтобы получить большее количество сигналовъ, чѣмъ тѣ два, которые можно вызвать положительнымъ и отрицательнымъ токомъ, Лакуръ при помощи колебаній камертона обратилъ токъ въ перемежающійся. Онъ установилъ рядъ самопрерывающихся приборовъ съ камертонами (ср. I, § 373), изъ коихъ каждый давалъ одинъ опредѣленный тонъ, такъ что, нажимая на кнопку, можно было посылать любой тонъ. На другомъ концѣ телеграфной линіи были включены пріемные аппараты съ маленькими камертонами (рис. 354), изъ коихъ каждый также имѣлъ опредѣленный тонъ. Подобно тому какъ тѣло, которое можетъ производить своими колебаніями тонъ,

Рис. 354



Фонотелеграфъ Лакура.

приводится въ движеніе „симпатически“ только своимъ собственнымъ тономъ, такъ приходили въ движеніе только тѣ маленькіе камертоны, электрическіе тоны которыхъ соотвѣтствовали посылаемымъ тонамъ. Маленькіе камертоны дѣйствовали, какъ релэ, и каждый изъ нихъ вводилъ свой отдѣльный мѣстный токъ.—Оказалось, что въ одномъ и томъ же проводѣ могли дѣйствовать, не мѣшая другъ другу, не менѣе 12 тоновъ одной и той же октавы.

406. Такимъ образомъ при помощи фонотелеграфа можно передавать звуковыя колебанія изъ одного мѣста въ другое, переводя звуковыя волны въ перемежающіеся электрическіе токи, а затѣмъ снова приводя въ движеніе источникъ звука помощью электромагнитныхъ дѣйствій этихъ токовъ. Однако, сложные звуки, какъ музыка или тембръ человѣческаго голоса, нельзя передавать по фонотелеграфу. Тѣмъ не менѣе передачи сложныхъ звуковъ указаннаго рода все же удалось добиться при помощи электрическаго тока.

Первый электрическій телефонъ былъ построенъ въ 1860 году Филиппомъ Рейсомъ. Рейсъ родился въ 1834 году въ Гельнгаузенѣ, а умеръ въ 1874 въ Фридрихсдорфѣ близъ Гомбурга (Гессенъ-Нассау), гдѣ съ 1858 года онъ былъ учителемъ въ школѣ Гарнье. Его приборъ изображенъ на рис. 355. Деревянный резонансный ящикъ снабженъ отверстіемъ для рта *S*, а сверху закрытъ упругой перепонкой, имѣ-

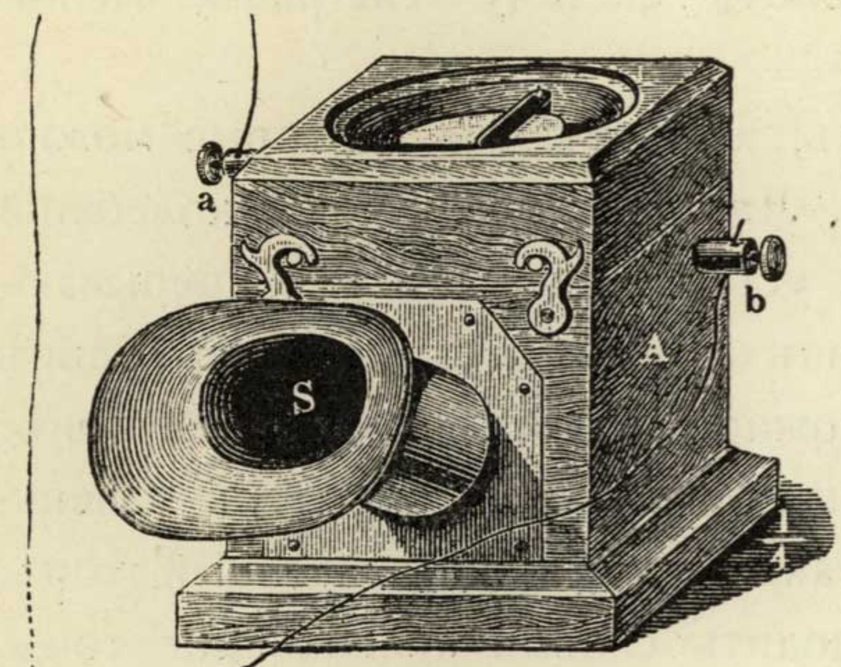
---

[1]) Одинъ изъ авторовъ настоящей книги. *Прим. пер.*

http://mathesis.ru

ющей въ срединѣ платиновую пластинку *p*. Если производить передъ *S* звукъ, то воздухъ въ ящикѣ, а вслѣдствіе того и перепонка, начинаетъ колебаться. Непосредственно надъ *p* находится платиновый штифтъ на рычагѣ *hgi*. Когда пластинка *p* начинаетъ колебаться, она приходитъ въ соприкосновеніе съ платиновымъ штифтомъ и это соприкосновеніе замыкаетъ цѣпь батареи. Въ томъ же тактѣ, въ которомъ происходитъ движеніе пластинки *p*, постоянно замыкается и прерывается токъ, который въ то же время проходитъ по спирали *M*, со стальнымъ стерженькомъ внутри. Этотъ стерженекъ поочередно то намагничивается, то размагничивается соотвѣтственно такту колебаній тока и, слѣдовательно, соотвѣтственно такту звуковыхъ волнъ, вступающихъ въ резонансный ящикъ. Когда же онъ намагничивается, онъ нѣсколько удлиняется, а когда размагничивается, то опять укорачивается. Это явленіе было извѣстно уже съ 1837 года (ср. § 223). Но въ приборѣ Рейса стальной стерженекъ лежалъ на резонансномъ ящикѣ, который отъ удлиненій и укорачиваній стального стержня приходилъ въ колебаніе. При такой передачѣ высота звука сохранялась, но тембръ его пропадалъ.

Рис. 355

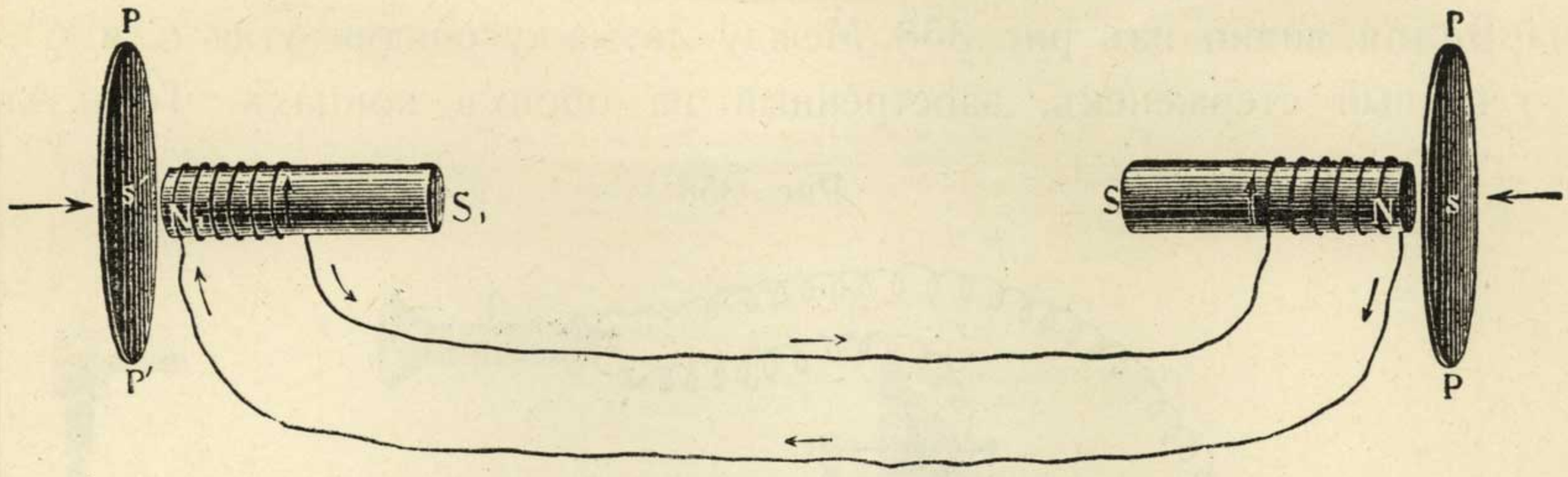


Телефонъ Рейса.

407. Значительно усовершенствованный телефонъ былъ построенъ въ 1875 году Грэмомъ Беллемъ (род. 1847 въ Эдинбургѣ). Белль былъ профессоромъ физіологіи органовъ рѣчи въ Бостонѣ и обладалъ опытностью въ фонетическихъ изслѣдованіяхъ. Въ его приборѣ звуковыя волны дѣйствовали на тонкую стальную пластинку *s* (рис. 356), помѣщенную противъ полюса магнита *NS*. Колебанія этой стальной пластинки измѣняютъ силу магнитнаго полюса и вслѣдствіе этого въ обмоткѣ *D* (рис. 357) возникаютъ индуктивные токи. Эти индуктивные токи проходятъ по проводамъ на другую станцію, а здѣсь по другой обмоткѣ, такъ что сила магнита N_1S_1 измѣняется здѣсь соотвѣтственно силѣ тока. Вслѣдствіе этого тонкая стальная пластинка *s'* приходитъ въ колебательное движеніе и производитъ точно такія же звуковыя волны, какъ тѣ, которыя приводятъ въ движеніе стальную пластинку *s*. По-

этому, если держать ухо передъ s', то можно слышать слова, которыя говорятся въ приборъ другой станціи.

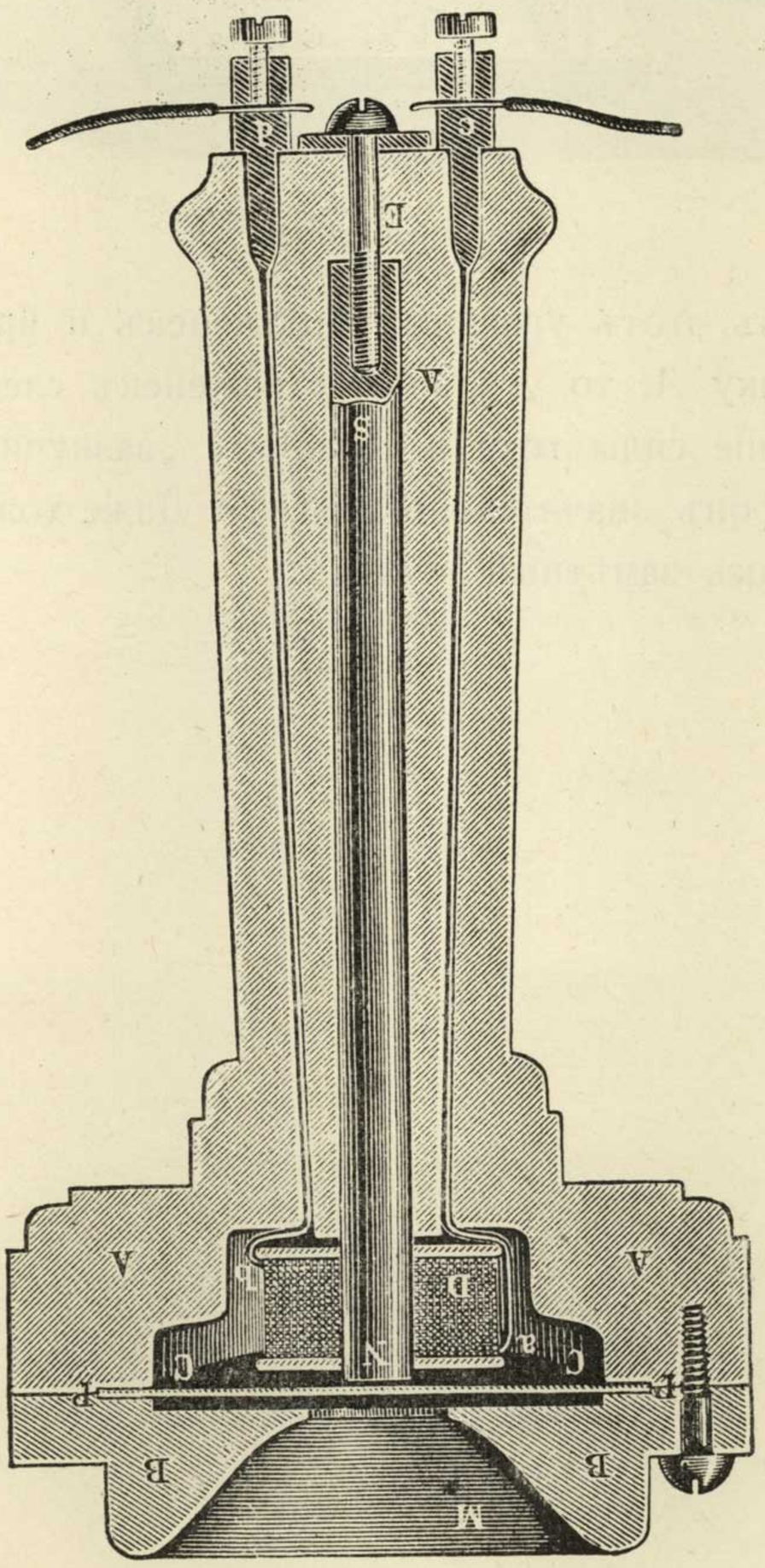
Рис. 356



Телефонъ Белля.

Телефонъ Белля имѣетъ тотъ недостатокъ, что передаетъ звуки лишь очень слабо. Поэтому для болѣе значительныхъ разстояній онъ непригоденъ.

Рис. 357



Телефонъ Белля.

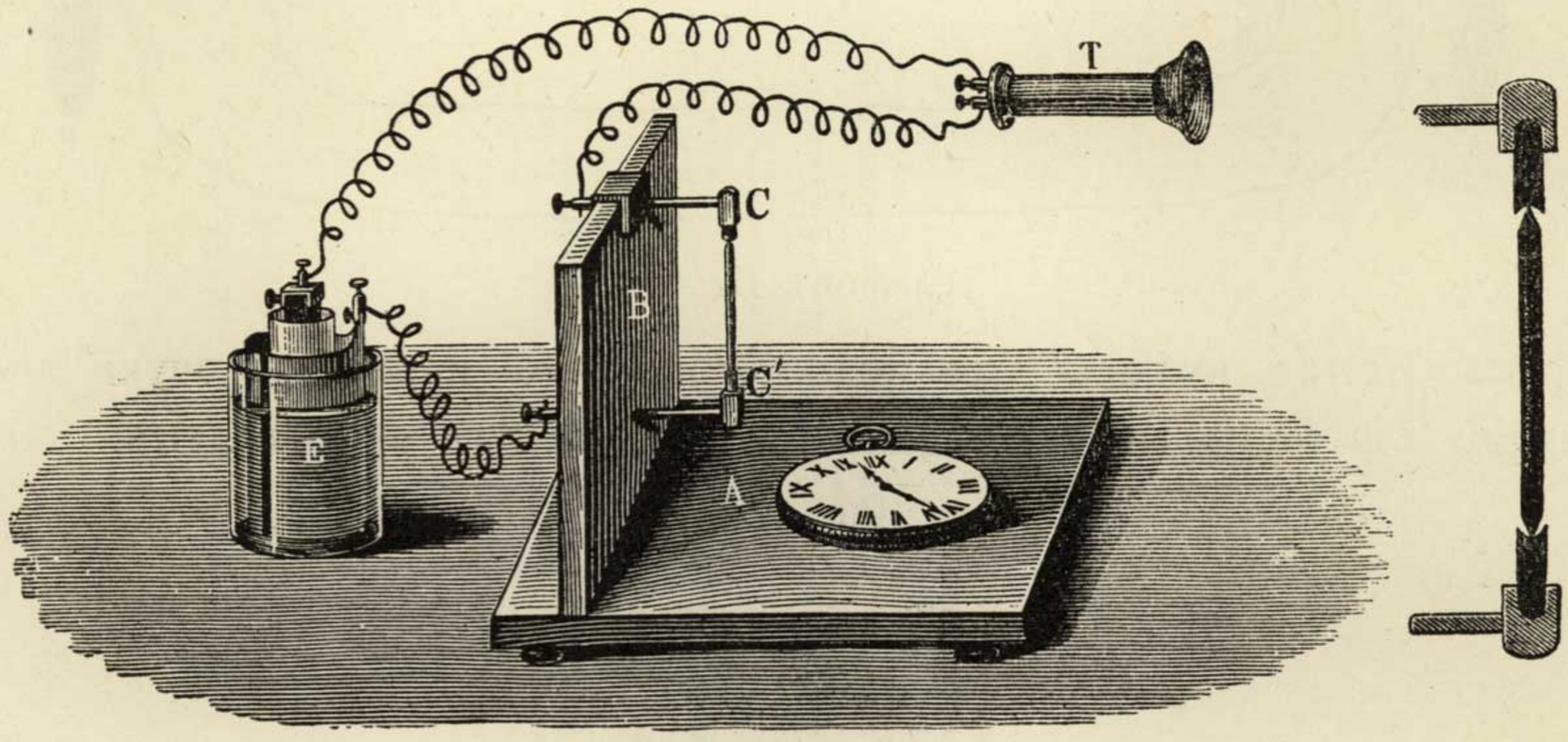
408. Примѣненіе телефона для значительныхъ разстояній стало возможнымъ только послѣ введенія микрофона. При этомъ телефонъ Белля служитъ лишь слуховымъ аппаратомъ.

http://mathesis.ru

Микрофонъ обыкновенно называютъ изобрѣтеніемъ Юза. Однако, его нужно считать измѣненіемъ одной части такъ называемаго угольнаго телефона Эдисона.

Устройство микрофона Юза, который значительно усиливаетъ слабые звуки телефона Белля, видно изъ рис. 358. Между двумя кусочками угля *C* и *C'* свободно сидитъ угольный стерженекъ, заостренный на обоихъ концахъ. Токъ элемента *E*

Рис. 358



Микрофонъ.

долженъ проходить чрезъ этотъ угольный стерженекъ и чрезъ обмотку телефона *T*. Если встряхнуть пластинку *A*, то угольный стерженекъ слегка смѣстится, это произведетъ замѣтное измѣненіе силы тока и телефонъ „зазвучитъ“. Тиканье карманныхъ часовъ слышно въ телефонъ значительно сильнѣе. Даже хожденіе мухи по пластинкѣ слышно въ телефонъ, какъ замѣтный шумъ.

---

http://mathesis.ru

Погода

http://mathesis.ru

http://mathesis.ru

До изобрѣтенія барометра

409. На землѣ, конечно, нѣтъ мѣста, гдѣ погода не подвергалась бы болѣе или менѣе значительнымъ перемѣнамъ. Однако, эти перемѣны далеко не такъ правильны, какъ тѣ измѣненія, которыя наблюдаются въ солнцѣ, лунѣ и звѣздахъ. Но такъ какъ для человѣка погода имѣетъ огромное значеніе, то люди во всѣ времена пытались предсказывать погоду.

Прежде думали, что это можно дѣлать при помощи самихъ небесныхъ тѣлъ. Если послѣднія могли давать указанія о судьбѣ человѣка, о войнѣ, чумѣ и другихъ земныхъ предметахъ, то, конечно, они должны были давать свѣдѣнія и о томъ, что приходитъ съ самого неба. Остатками этого суевѣрія являются, вѣроятно, правила вродѣ того, что къ дождю луна „каплетъ“, т. е. что луна, имѣющая форму чашки, поворачиваетъ свое дно наклонно кверху.

410. Человѣкъ очень склоненъ подозрѣвать связь между двумя явленіями, которыя наблюдаются одновременно. Если такое одновременное появленіе наблюдается нѣсколько разъ, то предположеніе укрѣпляется и случайное кажется закономѣрнымъ. Съ другой стороны, многіе не замѣчаютъ исключеній изъ правила или же, замѣчая ихъ, успокаиваются на томъ, что нѣтъ правила безъ исключенія. Поэтому вездѣ можно найти массу примѣтъ относительно погоды, изъ которыхъ нѣкоторыя дѣйствительно выражаютъ связь между явленіями природы, тогда какъ другія не имѣютъ никакого реальнаго основанія, какъ, напримѣръ, указанная выше примѣта о капаніи луны. Другимъ правиломъ, которое прежде часто примѣнялось для предсказанія погоды на лѣто и которое, можетъ быть, примѣняется еще и теперь во многихъ мѣстахъ, является слѣдующее: „Какъ снѣжные дни зимою распредѣляются относительно Срѣтенія (2 февраля), такъ распредѣляются дождливые дни ближайшаго лѣта относительно Иванова дня (24 іюня). Если шелъ снѣгъ 31 января, то будетъ дождь 22 іюня и т. д.“.

411. Но наряду съ этими, не имѣющими никакого значенія, предсказаніями погоды существуютъ и другія, связанныя съ природою вещей. Есть много людей, особенно между болѣе пожилыми крестьянами, которые могутъ предсказывать погоду болѣе или менѣе вѣрно, опираясь на долголѣтній опытъ.

Мы имѣемъ собраніе примѣтъ относительно погоды, составленное 300 лѣтъ тому назадъ по указанію Тихо Браге однимъ изъ его учениковъ, Педеромъ Якобсеномъ Флемлёзе (1554—1599). Флемлёзе изучалъ медицину, но король Фридрихъ II обѣщалъ сдѣлать его каноникомъ, если онъ сначала будетъ помогать Тихо Браге при его астрономическихъ наблюденіяхъ. Онъ пробылъ на Гвенѣ 10 лѣтъ, затѣмъ былъ врачемъ намѣстника Норвегіи, а въ 1590 году получилъ обѣщанный

http://mathesis.ru

каноникатъ въ Роскильдѣ. Тихо Браге отпечаталъ трудъ Флемлёзе въ 1591 году въ собственной типографіи, продиктовавъ Лонгомонтану предисловіе къ этой книгѣ. Книга имѣла слѣдующее названіе „En Elementisch og Jordisch Astrologia om Lufftens forendring“ (Элементная и земная астрологія объ измѣненіи воздуха). Но какъ изъ предисловія, такъ и изъ содержанія книги ясно, что здѣсь рѣчь идетъ не объ астрологіи въ старомъ смыслѣ слова. Здѣсь указывается, что чувства животныхъ находятся въ зависимости отъ состоянія погоды и что это можно видѣть по поведенію животныхъ. На человѣка состояніе воздуха не дѣйствуетъ такъ сильно, но онъ можетъ дѣлать свои заключенія на основаніи того, что онъ видитъ. Поэтому Тихо Браге предпочитаетъ эти правила попыткамъ предсказывать погоду по расположенію звѣздъ, такъ какъ они достовѣрнѣе и въ то же время легко понятны каждому.

Новое изданіе этой книги съ предисловіемъ Лонгомонтана появилось въ 1644 году. Позднѣйшія изданія были въ 1745 и 1865 годахъ. Книга раздѣляется на шесть частей съ 399 отдѣльными правилами. Она говоритъ о примѣтахъ сухой и ясной погоды, холода, снѣга, града, инея, пасмурной погоды и росы, дождя и бури, грозъ, землетрясеній, урожая и неурожая. Эти примѣты извлекались изъ вида солнца, луны и звѣздъ, воздуха и моря, земныхъ явленій (огней), движеній и вида животныхъ и растеній, способовъ смѣны погодъ и т. д. Даже шестая часть, посвященная урожаю и неурожаю, говоритъ о совершенно реальномъ. Такъ, напримѣръ, правило 377 говоритъ: „Большое количество снѣга въ надлежащее время и своевременный морозъ зимою благопріятны для посѣва, такъ что обыкновенно при этомъ бываетъ богатый урожай“, правило 385: „Частые ночные морозы и иней весною и лѣтомъ вредны не только для развитія хлѣбовъ, но также и для роста цвѣтовъ въ поляхъ, въ садахъ и лѣсахъ“. Цѣлыя 300 лѣтъ книга Флемлёзе оказывала превосходныя услуги всякому, кто хотѣлъ вникнуть въ ея идеи. Еще и теперь мы можемъ поучаться у стараго мастера, хотя теперь мы привыкли при нашихъ предсказаніяхъ погоды опираться на данныя метеорологическихъ инструментовъ.

412. Не менѣе интересно и то, что наряду со своими астрономическими замѣтками Тихо Браге велъ на Гвенѣ съ 1582 до 1597 года метеорологическій дневникъ. Онъ хранился въ придворной Вѣнской библіотекѣ въ видѣ рукописи, пока въ 1876 году не былъ обработанъ и опубликованъ Научнымъ Обществомъ въ Копенгагенѣ. Хотя эти наблюденія дѣлались безъ инструментовъ, однако, изъ нихъ можно было извлечь заключеніе, что погода во многихъ отношеніяхъ въ то время была такая же, какъ и теперь. Такъ, замѣчается хорошее согласованіе въ облачности различныхъ мѣсяцевъ, а также въ частотѣ дождя, снѣга, града, тумана и грозъ. Изъ дневника Браге вытекаетъ даже, что въ то время, какъ и теперь, извѣстные дни года (напримѣръ, 15 января) обыкновенно бываютъ холодны, другіе же (напримѣръ, 8 января) бываютъ мягче.

Метеорологическіе инструменты

413. Вскорѣ по изобрѣтеніи барометра замѣтили, что давленіе воздуха оказываетъ значительное вліяніе на погоду, и какъ барометръ, такъ и термометръ правильно наблюдались въ различныхъ мѣстахъ уже въ XVII столѣтіи, въ которомъ они были изобрѣтены. Напримѣръ, во Флоренціи по повелѣнію великаго герцога произ-

http://mathesis.ru

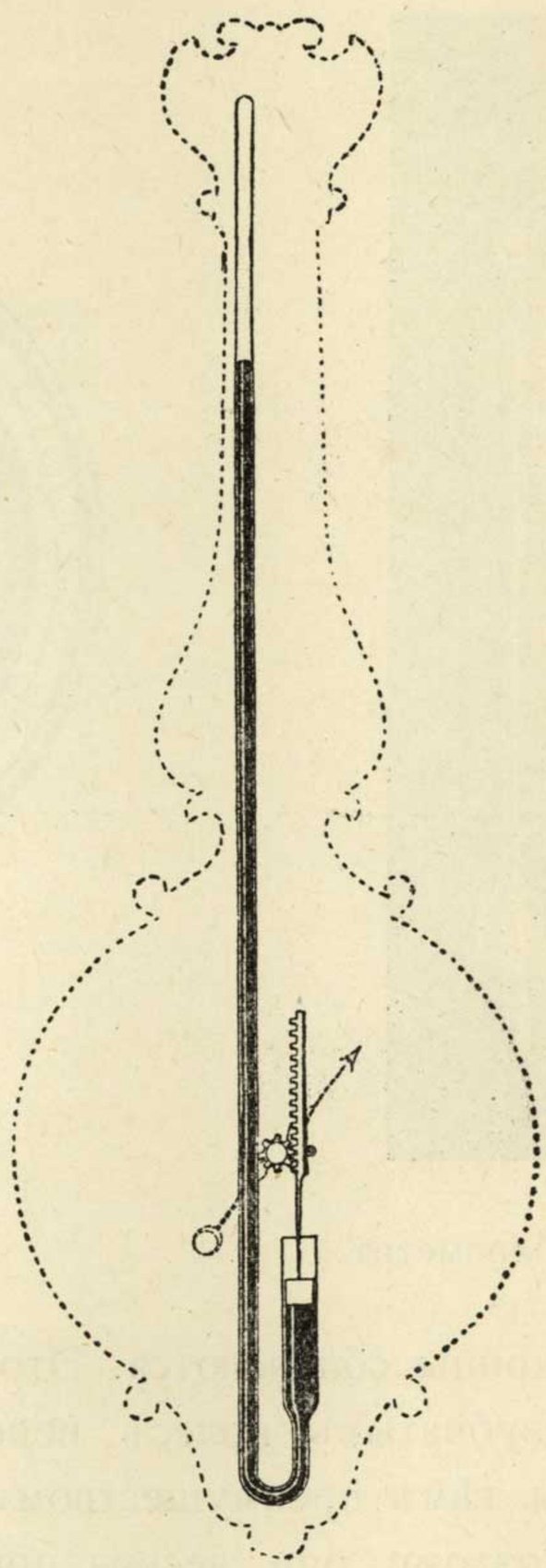
водились правильныя наблюденія погоды, касавшіяся давленія атмосферы, температуры, направленія вѣтра и вида неба. Однако, однихъ этихъ наблюденій не было еще достаточно для открытія новыхъ соотношеній между явленіями природы. Прежде чѣмъ изъ результатовъ такихъ наблюденій можно было извлечь достовѣрныя заключенія, надо было улучшить инструменты и собрать многолѣтнія наблюденія. Относительно развитія инструментовъ можно замѣтить слѣдующее.

414. Гукъ (I, § 166) построилъ сифонный барометръ, на которомъ колебанія атмосфернаго давленія наблюдаются удобнѣе, чѣмъ на обыкновенномъ барометрѣ. Въ этомъ приборѣ (рис. 359 и 360) на поверхности ртути въ открытомъ колѣнѣ пла-

Рис. 359



Рис. 360



Барометръ Гука.

ваетъ желѣзная гирька. Движенія этой гирьки при помощи зубчатой линейки и зубчатаго колеса передаются стрѣлкѣ, какъ указано на рис. 360. Благодаря этой передачѣ колебанія барометра получаются въ значительно усиленномъ видѣ.

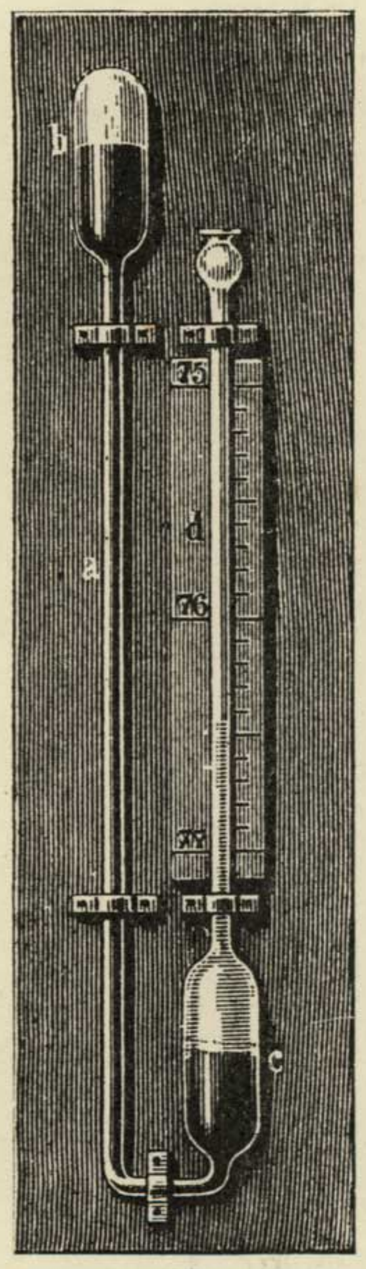
Гюйгенсъ (I, § 161) является изобрѣтателемъ двойного барометра (рис. 361). Открытое колѣно этого барометра имѣетъ цилиндрическую форму кверху и удлиняется въ узкую открытую трубку, въ которой находится окрашенный спиртъ. Закрытое колѣно барометра оканчивается расширеніемъ такой же формы, какъ и открытое. Даже незначительное измѣненіе высоты ртути производитъ большое измѣненіе въ

http://natenis.ru

положеніи верхняго конца спиртового столбика. Конечно, повышенію барометра, т. е. увеличенію атмосфернаго давленія, соотвѣтствуетъ пониженіе спиртового столбика.

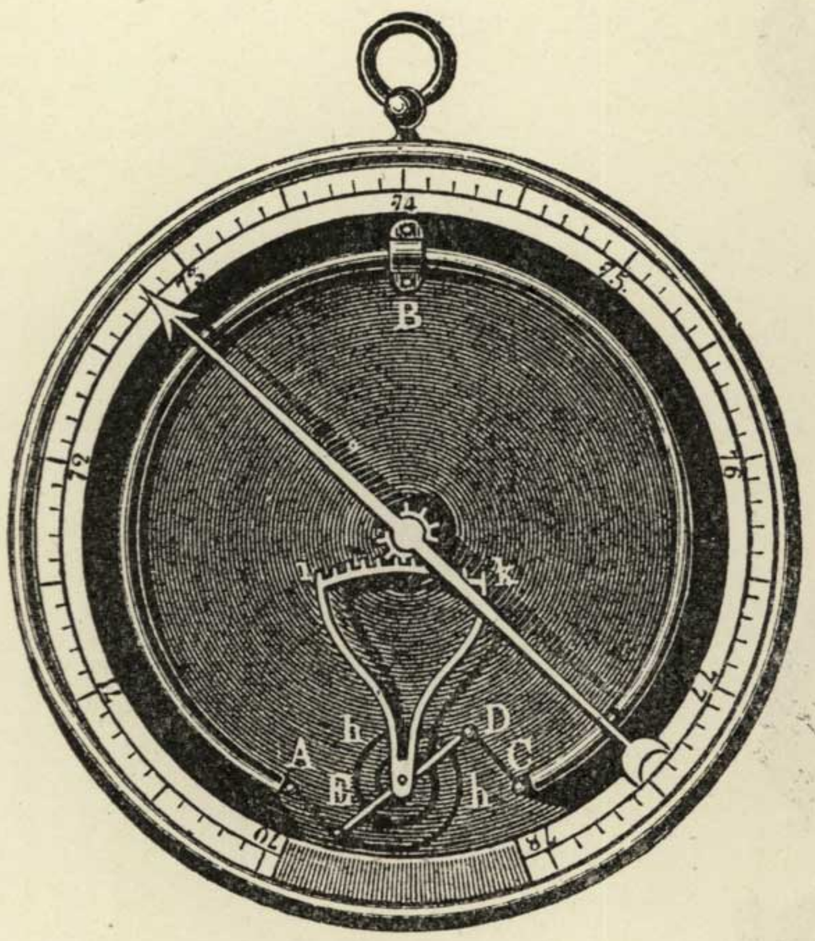
Кромѣ этихъ ртутныхъ барометровъ различные механики строили такъ называемые анероиды, т. е. барометры безъ жидкости. Существуетъ нѣсколько родовъ этихъ барометровъ. Всѣ они имѣютъ упругій металлическій сосудъ съ безвоздушнымъ пространствомъ, который сжимается тѣмъ больше, чѣмъ выше давленіе атмосферы. Въ приборѣ, изображенномъ на рис. 362, этотъ сосудъ имѣетъ форму неполнаго кольца. Когда давленіе атмосферы увеличивается, увеличивается и кривизна кольца,

Рис. 361



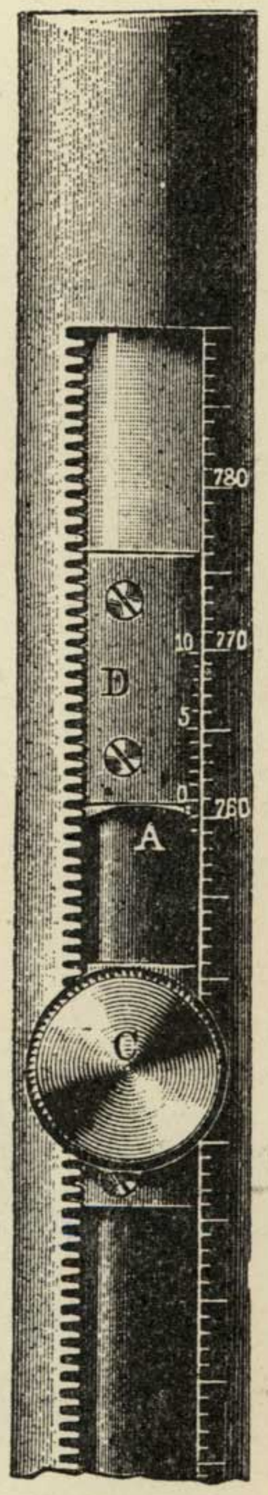
Двойной барометръ.

Рис. 362



Анероидъ.

Рис. 363



Приспособленіе для отсчитыванія высоты барометра.

т. е. его концы сближаются. Это движеніе при помощи рычага и двухъ зубчатыхъ колесъ передается стрѣлкѣ. Эти приборы отличаются тѣмъ преимуществомъ, что ихъ очень удобно переносить. Поэтому они весьма пригодны для опредѣленія высоты (I, § 262).

415. Однако, для точныхъ измѣреній лучше всего годится ртутный барометръ такого устройства, что нуль его шкалы можетъ быть устанавливаемъ на высотѣ ртути въ открытомъ колѣнѣ, а шкала можетъ быть отсчитываема при помощи ноніуса.

Этого можно достичь различными способами. Въ приборѣ, часть котораго изображена на рис. 363, шкала состоитъ изъ латунной трубки, внизу оканчивающейся штифтомъ изъ слоновой кости, конецъ котораго представляетъ нуль дѣленій и который устанавливается такъ, что касается поверхности ртути. Въ верхней части эта латунная трубка прорѣзана, такъ что можно видѣть поверхность ртути. Для точныхъ отсчетовъ служитъ ноніусъ, нанесенный на краю подвижной линейки *D*. Передъ

http://mathesis.ru

отсчетомъ нижній край этой подвижной линейки устанавливаютъ на верхній край ртути. Рисунокъ показываетъ высоту барометра въ 760·8 *мм*.

Высота барометра, отсчитываемая непосредственно, всегда бываетъ нѣсколько ошибочна, такъ какъ при различныхъ температурахъ ртуть имѣетъ различную плотность. Для того чтобы освободить показаніе барометра отъ этой ошибки, всегда вычисляютъ ту высоту, какую барометръ имѣлъ бы, еслибы наблюденіе дѣлалось при 0°. Это „приведеніе“ барометра къ 0° дѣлается по формулѣ

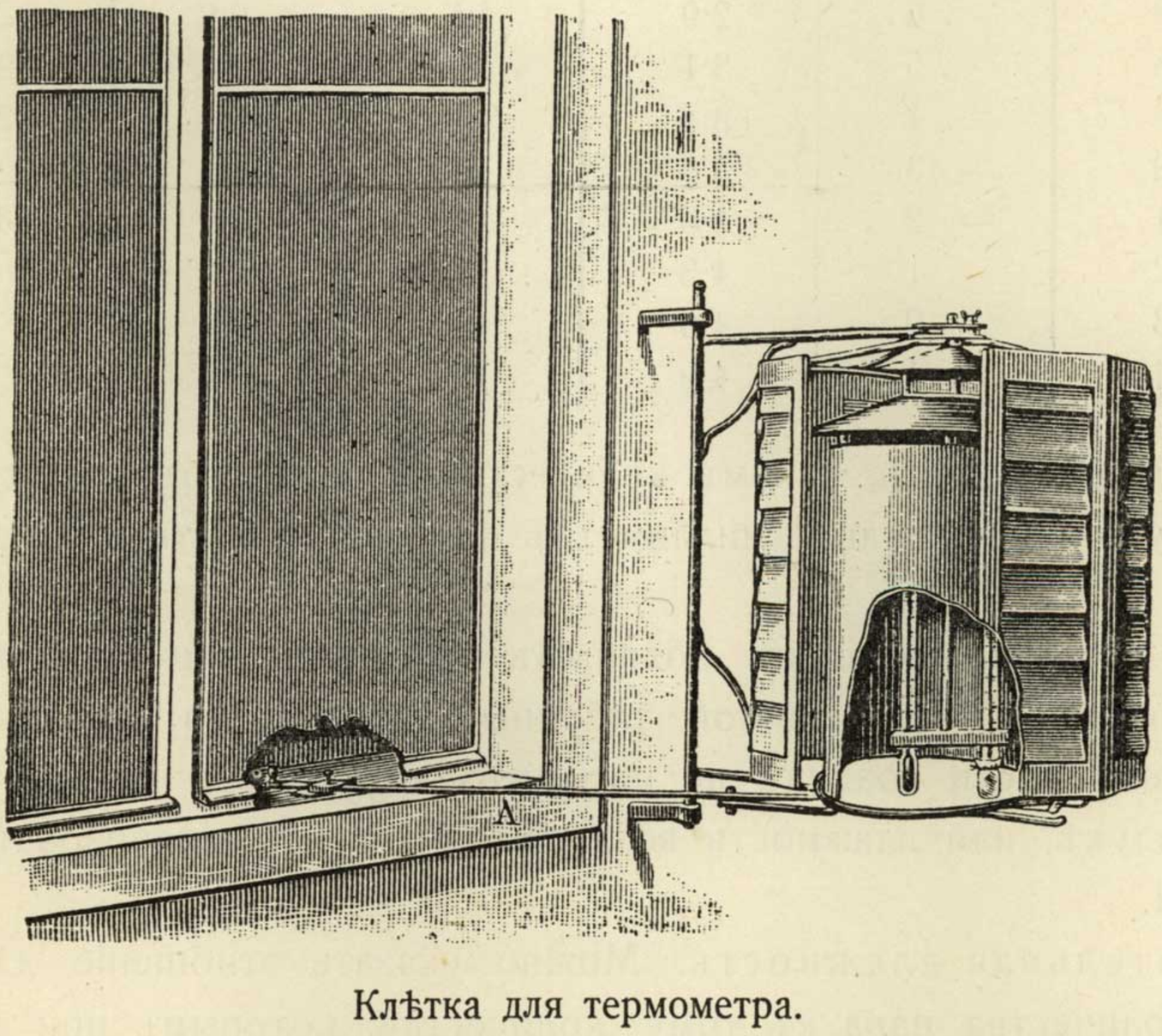
$$b_o = b_t\,(1 - \alpha t),$$

въ которой b_o означаетъ высоту барометра при 0°, b_t его высоту при t^0, t температуру, при которой былъ отсчитанъ барометръ, а α коэффиціентъ расширенія ртути (0·000181). При постоянныхъ наблюденіяхъ эта поправка получается при помощи особой таблицы, вычисленной согласно этой формулѣ.

Какъ мы знаемъ, высота барометра въ сильной степени зависитъ отъ высоты мѣста наблюденія надъ уровнемъ моря. Для извѣстныхъ цѣлей (картъ погоды) высоту барометра нужно приводить къ уровню моря. Если мѣсто наблюденія расположено не очень высоко надъ уровнемъ моря, то эта поправка высоты барометра составляетъ 1 *мм* на каждые 10·5 *м* высоты (1, § 261). При болѣе значительныхъ высотахъ эту поправку нужно вычислять при помощи особой таблицы.

416. Устройство и развитіе термометра было уже описано въ §§ 10 — 26. Прошло много времени прежде, чѣмъ поняли, въ какія условія нужно ставить термо-

Рис. 364



Клѣтка для термометра.

метръ, чтобы онъ могъ вѣрно показывать температуру воздуха. Сначала думали, что для полученія вѣрной температуры воздуха нужно наблюдать два термометра, одинъ на сѣверной сторонѣ дома, а другой на южной и затѣмъ брать среднее изъ отсчетовъ этихъ двухъ термометровъ. Только послѣ того, какъ узнали законы теплового лучеиспусканія, стало ясно, какъ нужно помѣщать термометры для того, чтобы они правильно показывали температуру воздуха. Термометръ долженъ висѣть на откры-

http://mathesis.ru

томъ воздухѣ, но долженъ быть защищеннымъ отъ тепловыхъ лучей и отъ дождя. Этого достигаютъ, подвѣшивая термометръ въ особой клѣткѣ со стѣнками изъ жалузи (рис. 364). Эту клѣтку лучше всего помѣщать на высотѣ отъ 2 до 3 *м* на сѣверной сторонѣ дома.

417. Количество водяного пара, которое можетъ содержаться въ опредѣленномъ пространствѣ, какъ мы видѣли (§ 86), зависитъ не отъ количества воздуха въ этомъ пространствѣ, а только отъ его температуры. Если данное пространство содержитъ столько водяного пара, сколько оно можетъ содержать при своей температурѣ, то это пространство насыщено водянымъ паромъ или наполнено насыщеннымъ паромъ (§ 81). Этотъ паръ производитъ извѣстное давленіе независимо отъ того, есть ли тамъ еще воздухъ или нѣтъ. Давленіе пара, выраженное въ миллиметрахъ ртутнаго столба, при различныхъ температурахъ t имѣетъ слѣдующія величины:

t	*мм*	t	*мм*	t	*мм*	t	*мм*
— 30°	0·6	— 14°	1·5	2°	5·3	18°	15·4
— 29	0·6	— 13	1·6	3	5·7	19	16·3
— 28	0·6	— 12	1·8	4	6·1	20	17·4
— 27	0·6	— 11	1·9	5	6·5	21	18·5
— 26	0·7	— 10	2·1	6	7·0	22	19·7
— 25	0·7	— 9	2·3	7	7·5	23	20·9
— 24	0·7	— 8	2·5	8	8·0	24	22·2
— 23	0·7	— 7	2·7	9	8·6	25	23·6
— 22	0·8	— 6	2·9	10	9·2	26	25·0
— 21	0·8	— 5	3·1	11	9·8	27	26·3
— 20	0·9	— 4	3·4	12	10·5	28	28·1
— 19	1·0	— 3	3·7	13	11·2	29	29·8
— 18	1·1	— 2	4·0	14	11·9	30	31·6
— 17	1·2	— 1	4·3	15	12·7		
— 16	1·3	0	4·6	16	13·5		
— 15	1·4	1	4·9	17	14·4		

Для того чтобы узнать, какимъ количествамъ пара соотвѣтствуютъ эти различныя давленія, нужно на каждый миллиметръ давленія считать 1·06 *г* пара въ кубическомъ метрѣ.

418. Если воздухъ насыщенъ водянымъ паромъ и если извѣстна его температура, то при помощи вышеуказанной таблицы можно легко найти количество водяного пара въ немъ. Если воздухъ не насыщенъ паромъ, то количество пара, содержащееся въ воздухѣ, или влажность воздуха, можно характеризовать тремя различными способами.

а) Относительная влажность. Можно указать отношеніе дѣйствительно содержащагося количества пара къ тому количеству, которымъ при данной температурѣ воздухъ насыщается. Относительная влажность обыкновенно выражается въ процентахъ. Если, напримѣръ, при 16° давленіе пара составляетъ только 8·1 *мм*, тогда какъ оно можетъ при этой температурѣ доходить до 13·5 *мм*, то относительная влажность составляетъ $8{\cdot}1 : 13{\cdot}5 = 60\%$.

б) Абсолютная влажность. Можно просто указать дѣйствительное количество пара въ воздухѣ или соотвѣтствующее давленіе.

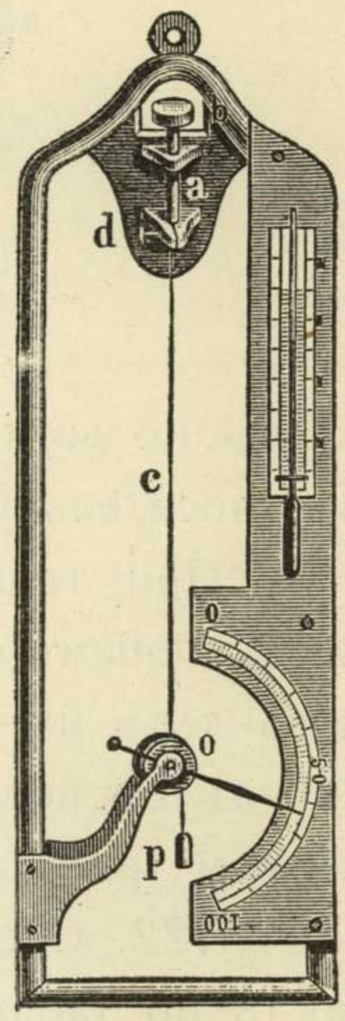
http://mathesis.ru

в) Можно указать точку росы, т. е. ту температуру, при которой воздухъ былъ бы насыщенъ наличнымъ количествомъ пара. Въ приведенномъ выше примѣрѣ точка росы была бы $8^1/_6{}^0$, т. е. еслибы воздухъ при той же влажности былъ охлажденъ до этой температуры, то водяной паръ началъ бы выдѣляться въ видѣ росы.

419. Влажность воздуха можно найти различными способами. Существуютъ извѣстныя животныя и растительныя ткани, обладающія свойствомъ сжиматься или расширяться въ зависимости отъ степени влажности. Къ такимъ, такъ называемымъ гигроскопическимъ, веществамъ принадлежатъ, напримѣръ, волосы, струны изъ кишекъ и клювы нѣкоторыхъ породъ аистовъ. Существуетъ много дешевыхъ, но и достаточно неудовлетворительныхъ „предсказателей погоды“, которые основаны на свойствахъ гигроскопическихъ веществъ.

Наилучшимъ изъ такого рода приборовъ является волосной гигрометръ (рис. 365), построенный женевскимъ профессоромъ Соссюромъ (1740—1799). Гигроскопическую часть прибора составляетъ человѣческій волосъ, закрѣпленный вверху и перекинутый вокругъ оси внизу. При помощи маленькаго груза, дѣйствующаго на ось, волосъ удерживается въ натянутомъ положеніи. Стрѣлка, прикрѣпленная къ той же оси, показываетъ, соотвѣтственно степени влажности воздуха, различные градусы на особой шкалѣ. Эту шкалу получаютъ, помѣщая приборъ сначала въ совершенно сухомъ воздухѣ, а затѣмъ въ совершенно насыщенномъ парами и раздѣляя разстояніе между двумя соотвѣтственными положеніями стрѣлки на 100 частей. Конечно, этотъ приборъ не можетъ служить для непосредственнаго опредѣленія абсолютной влажности.

Рис. 365



Волосной гигрометръ.

420. Для полученія абсолютной влажности можно пропустить опредѣленное количество воздуха сквозь трубку, наполненную хлористымъ кальціемъ. Увеличеніе вѣса этой трубки укажетъ количество водяного пара, содержавшагося въ соотвѣтственномъ объемѣ воздуха. Этотъ способъ даетъ вѣрные результаты, но требуетъ много времени.

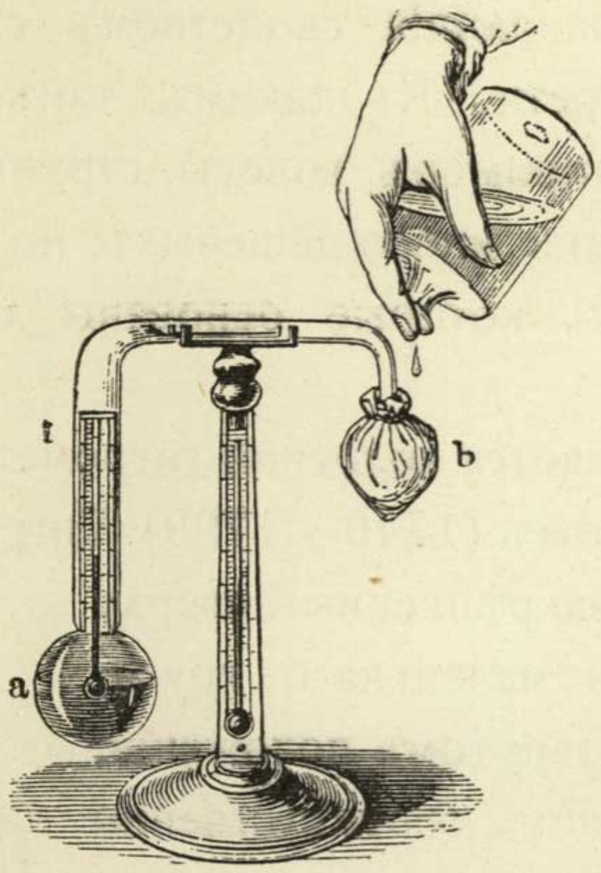
Другой способъ опредѣленія абсолютной влажности воздуха состоитъ въ томъ, что охлаждаютъ блестящій предметъ до тѣхъ поръ, пока онъ не покроется росою, и опредѣляютъ температуру, при которой это происходитъ. Эта температура есть точка росы. Рис. 366 показываетъ устройство гигрометра Даніэлля. Въ шарикѣ *a* содержится эѳиръ. Если на шарикъ *b*, обвязанный кусочкомъ тонкаго полотна, налить немного эѳира, то вслѣдствіе охлажденія при испареніи, пары эѳира въ шарикѣ *b* конденсируются, а въ шарикѣ *a* соотвѣтственное количество эѳира испаряется. Вслѣдствіе этого испаренія шарикъ *a* охлаждается и на термометрѣ *t* наблюдается температура, при которой шарикъ покрывается росою. Для того чтобы лучше можно было замѣтить это, часть поверхности шарика покрывается позолотой.

421. Точнѣе и проще всего влажность воздуха опредѣляется при помощи психрометра Августа (рис. 367). Онъ состоитъ изъ двухъ термометровъ, укрѣпленныхъ на общей подставкѣ. Шарикъ одного термометра оставляютъ сухимъ, а шарикъ другого обертываютъ кусочкомъ кисеи и смачиваютъ водою. Первый термометръ даетъ температуру воздуха, а другой показываетъ температуру, среднюю между первой температурой и точкой росы. Эта температура почти независима отъ движенія воз-

http://mathesis.ru

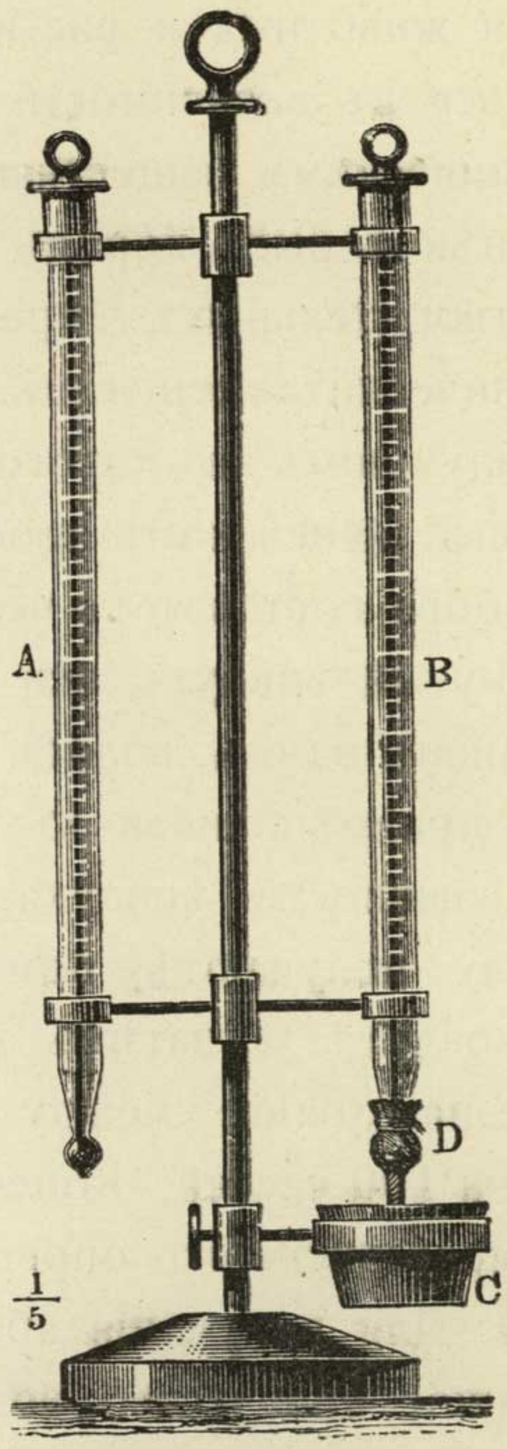
духа, такъ какъ, чѣмъ быстрѣе обновляется воздухъ, тѣмъ больше и его нагрѣвательное дѣйствіе, но въ то же время тѣмъ больше и охлажденіе вслѣдствіе усиленія испаренія. Эти среднія температуры были точно изслѣдованы и были составлены та-

Рис. 366



Гигрометръ Даніэлля.

Рис. 367



Психрометръ Августа.

блицы, пользуясь которыми можно найти абсолютную и относительную влажность и точку росы.

При температурахъ ниже 0^0 нужно передъ наблюденіемъ погрузить обмерзшій шарикъ въ воду, пока ледъ на немъ не растаетъ, затѣмъ удалить сосудъ съ водой и отсчитать температуру, когда термометръ достигнетъ своей низшей точки.

422. Отсчитавъ показаніе двухъ термометровъ, можно найти абсолютную влажность по таблицѣ стр. 403 въ мѣстѣ пересѣченія горизонтальной строки для соотвѣтственной температуры воздуха и вертикальнаго столбца для соотвѣтственной разности показаній. Если, напримѣръ, сухой термометръ показываетъ 15^0, а влажный 10^0, то абсолютная влажность составляетъ 6·1, т. е. воздухъ содержитъ 6·1 *г* водяного пара на кубическій метръ. При 15^0 воздухъ былъ бы насыщенъ 12·7 *г* водяного пара (разность составляла бы 0^0). Такимъ образомъ, относительная влажность равна $6 \cdot 1 : 12 \cdot 7 = 0 \cdot 48$ или 48%. Точка росы, какъ это также можно видѣть изъ таблицы, равна 4^0. Для того чтобы найти давленіе, производимое паромъ (или упругость пара), нужно въ предшествующемъ примѣрѣ найти изъ таблицы на стр. 400 упругость насыщеннаго пара при 15^0 и взять $48^0/_0$ ея. Въ данномъ случаѣ упругость пара была бы равна, слѣдовательно, 6·1 *мм*.

423. Относительная влажность можетъ служить мѣрой способности воздуха сушить. Чѣмъ меньше относительная влажность, тѣмъ большее количество водяныхъ паровъ можетъ принять въ себя воздухъ и тѣмъ, слѣдовательно, быстрѣе сохнутъ въ немъ влажные предметы отъ испаренія.

Абсолютная влажность указываетъ, сколько влаги содержится вообще въ воздухѣ и, значитъ, сколько воды можно извлечь изъ воздуха при надлежащей обработкѣ.

http://mathesis.ru

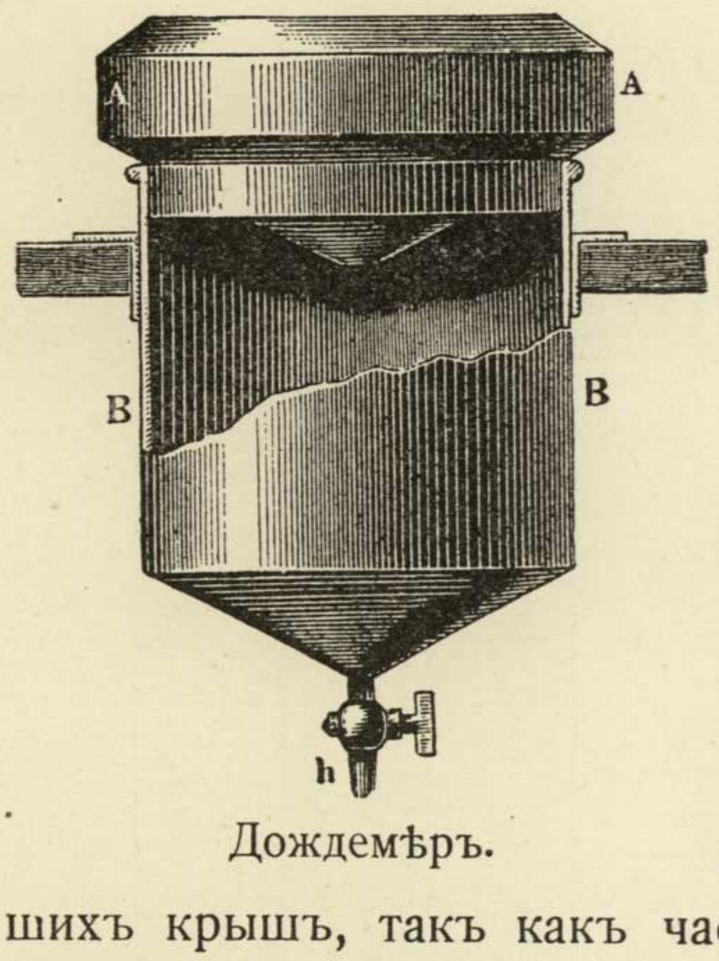
Температура воздуха въ градусахъ Цельзія	Разница между сухимъ и влажнымъ термометрами.												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
— 20	0·9												
— 19	1·0												
— 18	1·1												
— 17	1·2	0·6											
— 16	1·3	0·8											
— 15	1·4	0·9											
— 14	1·5	1·0											
— 13	1·6	1·1											
— 12	1·8	1·2											
— 11	1·9	1·4											
— 10	2·1	1·5											
— 9	2·3	1·7											
— 8	2·5	1·8	1·0										
— 7	2·7	2·0	1·2										
— 6	2·9	2·2	1·4										
— 5	3·1	2·5	1·7										
— 4	3·4	2·7	1·9										
— 3	3·7	3·0	2·2	1·3									
— 2	4·0	3·2	2·4	1·6									
— 1	4·3	3·5	2·7	1·8									
0	4·6	3·8	3·0	2 1	1·3								
+ 1	4·9	4·1	3·3	2·4	1·6								
+ 2	5·3	4·4	3·5	2·7	1·9	1·0							
+ 3	5·7	4·8	3·8	3·0	2·2	1·3							
+ 4	6·1	5·2	4·2	3·3	2·4	1·6							
+ 5	6·5	5·6	4·6	3·5	2·6	1·8							
+ 6	7·0	6·0	5 0	4·0	2·9	2·0							
+ 7	7·5	6·5	5·4	4·4	3·3	2·3	1·4						
+ 8	8·0	7·0	5·9	4·8	3·7	2·7	1·7						
+ 9	8·6	7·5	6 4	5·3	4·1	3·1	2·1						
+ 10	9·2	8·1	6·9	5·8	4·7	3·5	2·5	1·5					
+ 11	9·8	8·7	7·5	6·3	5·2	4·0	2·9	1·9					
+ 12	10·5	9·3	8·1	6·9	5·7	4 5	3·4	2·3	1·3				
+ 13	11·2	9·9	8·7	7·4	6·3	5·0	3·9	2.8	1·7				
+ 14	11·9	10·7	9·3	8·1	6·8	5·6	4·4	3 3	2·2	1·1			
+ 15	12·7	11·4	10.0	8·7	7·5	6·1	5·0	3·8	2·7	1·6			
+ 16	13·5	12 2	10·8	9·5	8·1	6·9	5·5	4·3	3·2	2·1			
+ 17	14·4	13·1	11·6	10·2	8·8	7·5	6 2	4·9	3·7	2·6	1·5		
+ 18	15·4	13·9	12·4	11·1	9·6	8·2	6·8	5·5	4·3	3·1	2.0		
+ 19	16·4	14·8	13·3	11·8	10·4	9·0	7·5	6·2	4·9	3·7	2·5	1·5	
+ 20	17·4	15·8	14·2	12·7	11·1	9·7	8·3	6·9	5·6	4·3	3·1	1·9	
+ 21	18·5	16 9	15·2	13·6	12.2	10·6	9·1	7·6	6·3	5·0	3·7	2·5	
+ 22	19·7	17·9	16·3	14·6	13·0	11·5	10·0	8·4	7·0	5·7	4·4	3·1	1·9
+ 23	20·9	19·1	17·4	15·6	14·0	12·4	10·9	9 2	7·8	6·4	5·1	3·8	2·5
+ 24	22·2	20·3	18·5	16·7	15·0	13·4	11·8	10 1	8·7	7·2	5·8	4·5	3·2
+ 25	23·6	21·7	19·7	17·9	16 1	14·4	12 7	11·1	9 5	8·0	6·6	5·2	3·9
+ 26	25·0	22·9	20·9	19·1	17·2	15·5	13·8	12·1	10·5	8·9	7·4	6·0	4·6
+ 27	26·5	24·4	22·3	20·3	18·4	16·6	14·8	13·1	11·5	9·9	8·3	6·8	5·4
+ 28	28·1	25·9	23·8	21·7	19·7	17·8	16·0	14·2	12 5	10·8	9·2	7·7	6·2
+ 29	29·8	27·5	25.3	23·1	21·1	19·1	17·2	15·4	13·6	11·9	10.2	8·6	7·1
+ 30	31·6	29·2	26·9	24·7	22·5	20·5	18·5	16·6	14·7	13·0	11·3	9·6	8·0
+ 31	33·4	30·9	28·5	26·2	24·0	21·9	19 8	17.9	16·0	14·1	12·4	10·6	9·0
+ 32	35·4	32·8	30·3	27·9	25·6	23 4	21·3	19·2	17 3	15·4	13·5	11·7	10·0
+ 33	37·4	34·7	32·2	29·7	27·3	25·0	22·8	20·6	18·6	16·6	14·8	12·9	11·1
+ 34	39·6	36·8	34·2	31·5	29 0	26·7	24·5	22·2	20·0	18·0	16·1	14·1	12·3
+ 35	41·8	39·0	36·2	33·5	30·9	28·4	26·1	23·8	21·6	19·4	17·4	15·4	13·5

http://rnanes.ru

Точка росы обозначаетъ предѣльную температуру, за которую съ трудомъ можетъ перейти охлажденіе воздуха. Именно, когда достигнута точка росы, содержащійся въ воздухѣ водяной паръ начинаетъ конденсироваться. А этотъ процессъ освобождаетъ такое количество тепла, что потеря тепла излученіемъ въ теченіе ночи совершенно или въ большей части устраняется. Поэтому весною по положенію точки росы можно довольно вѣрно опредѣлять, нужно ли бояться ночного мороза или нѣтъ.

424. Приборы для измѣренія количества дождя примѣняются почти такъ же давно, какъ и барометръ и термометръ. Какъ Гукъ (1670), такъ и Маріоттъ уже пользовались дождемѣрами. На рис. 368 изображена цѣлесообразная форма дождемѣра. Приборъ состоитъ изъ жестяного сосуда, верхняя часть котораго имѣетъ форму воронки. Цилиндрическая (верхняя) часть этой воронки имѣетъ поперечное сѣченіе въ 0·1 *квм.* Приборъ устанавливается на высотѣ приблизительно 2 *м* и вода, собравшаяся въ сосудѣ во время дождя, переливается въ мѣрный цилиндръ. Какъ показываетъ простое вычисленіе, каждый кубическій сантиметръ воды соотвѣтствуетъ слою дождевой воды въ одну сотую миллиметра.

Рис. 368



Дождемѣръ.

425. Для удобнаго опредѣленія направленія вѣтра съ незапамятныхъ временъ служитъ флюгеръ. Ему, однако, нужно предпочесть вымпелъ, такъ какъ флюгеръ, вращающійся вокругъ вертикальной оси, легко можетъ давать невѣрныя показанія, а именно, если его ось стоитъ не вполнѣ вертикально. Весьма существенно также, чтобы приспособленіе для указанія направленій вѣтра стояло по возможности далеко отъ сосѣднихъ зданій и большихъ крышъ, такъ какъ часто они весьма сильно вліяютъ на направленіе вѣтра.

Для измѣренія силы вѣтра были построены различные приборы. Одни изъ нихъ даютъ давленіе, производимое вѣтромъ, другіе его скорость. Здѣсь мы опишемъ только одинъ изъ такихъ приборовъ (анемометровъ). Онъ безъ сомнѣнія заслуживаетъ наибольшаго довѣрія, особенно уже потому, что его легко помѣстить на свободномъ мѣстѣ, напримѣръ, на верхушкѣ флагштока.

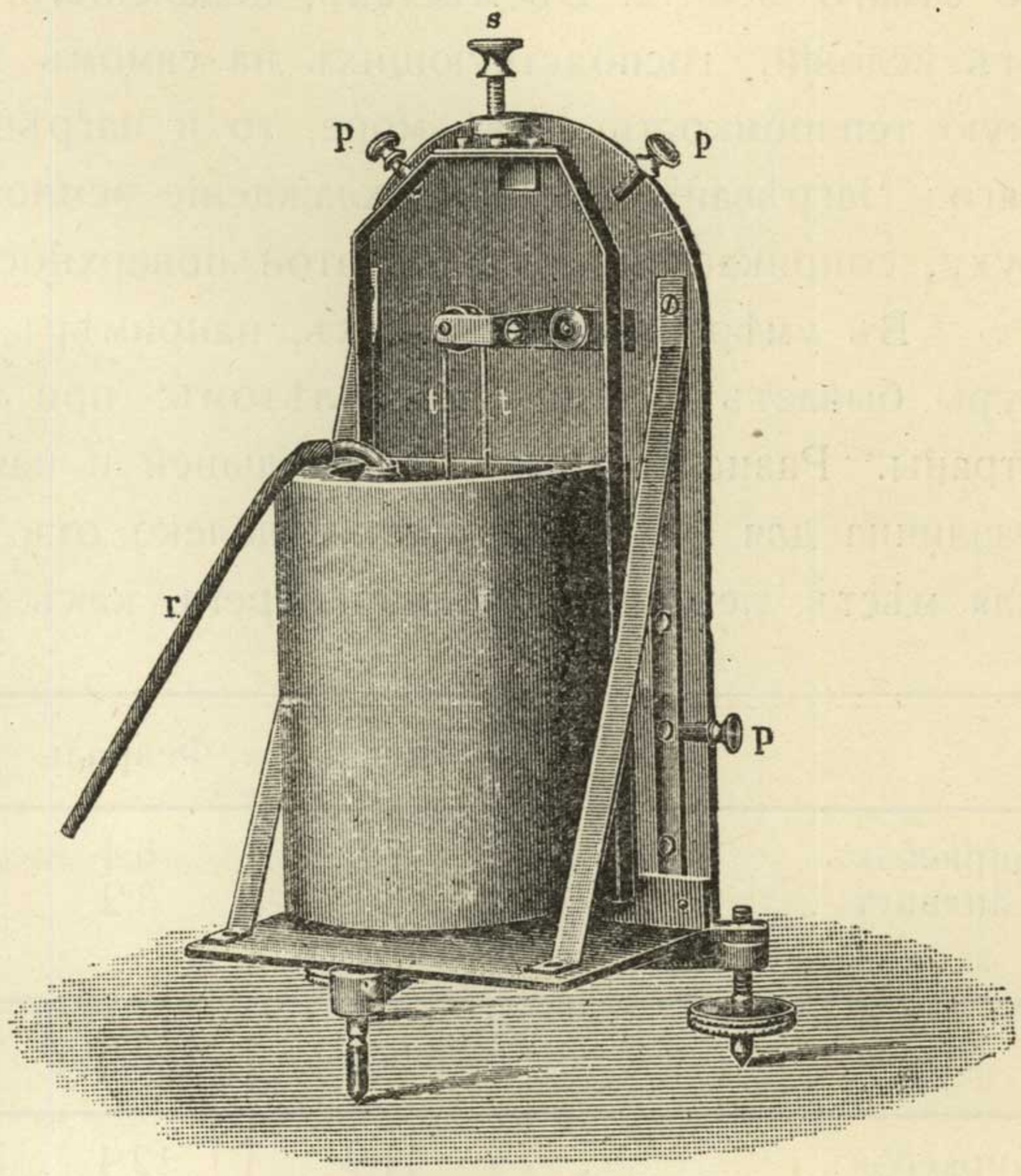
Если вѣтеръ проносится горизонтально надъ концомъ вертикальной трубки, то онъ отчасти высасываетъ воздухъ, содержащійся въ трубкѣ, увлекая съ собою часть его у конца трубки. Этимъ явленіемъ для измѣренія силы вѣтра впервые воспользовался въ 1873 году Магіусъ въ Копенгагенѣ. Трубка была укрѣплена на штангѣ и соединялась со стеклянной трубкой, которая находилась внутри дома и нижнимъ концомъ была погружена въ воду. Высота, до которой подымалась вода въ трубкѣ благодаря вѣтру, служила мѣрой силы вѣтра. Послѣ того какъ Гагеманнъ точнѣе изслѣдовалъ всасывающее дѣйствіе вѣтра и указалъ различные приборы для измѣренія этого дѣйствія, вошли въ употребленіе анемометры той формы, какая изображена на рис. 369. Этотъ рисунокъ представляетъ приборъ, построенный капитаномъ Рунгомъ. Приборъ состоитъ изъ цинковаго сосуда съ двойными стѣнками. Внутренняя его часть соединяется внизу съ пространствомъ между стѣнками, такъ что вода стоитъ на одной и той же высотѣ въ обѣихъ частяхъ. Сверху въ промежутокъ между стѣнками входитъ всасывающая трубка *r*. Такимъ образомъ, при вѣтрѣ вода

http://mathesis.ru

въ промежуткѣ между стѣнками подымается, а въ самомъ сосудѣ понижается. Эти колебанія уровня воды въ сосудѣ при помощи поплавка и показанной на рисункѣ нити *t* передаются на блокъ. Ось этого блока двигаетъ стрѣлку (на рисункѣ невидимую), которая занимаетъ то или другое мѣсто раздѣленнаго круга соотвѣтственно силѣ вѣтра. При помощи винта *s* сосудъ съ водою можно подымать и опускать. Это даетъ возможность при штилѣ устанавливать стрѣлку на нуль дѣленій.

426. Уже Гукъ построилъ приборъ, отмѣчавшій показаніе различныхъ метеорологическихъ инструментовъ въ опредѣленные моменты. Этотъ приборъ былъ представленъ лондонскому Королевскому Обществу въ 1670 году.

Рис. 369



Анемометръ.

Въ настоящее время на обсерваторіяхъ употребляется множество „самопишущихъ“ приборовъ. Нѣкоторые изъ нихъ записываютъ состояніе приборовъ непрерывно, каковы, напримѣръ, описанные въ § 246 приборы для записи склоненія и наклоненія магнитной стрѣлки и силы земного магнитизма. Другіе инструменты устроены такъ, что отмѣчаютъ состояніе приборовъ по истеченіи опредѣленнаго времени, напримѣръ, каждые 5 минутъ, каждую четверть часа или каждый часъ. Мы не можемъ входить здѣсь въ болѣе подробное описаніе этихъ приборовъ, въ которыхъ пользуются отчасти механическими, отчасти оптическими и отчасти электрическими вспомогательными средствами. Само собою разумѣется, что употребленіе такого рода приборовъ въ отношеніи удобства и полноты наблюденій имѣетъ большія преимущества передъ обыкновеннымъ наблюденіемъ соотвѣтственныхъ инструментовъ.

Климатъ

427. То неизмѣримое количество наблюдательнаго матеріала, которое собирается съ теченіемъ времени на многочисленныхъ метеорологическихъ станціяхъ, ложится въ основу характеристики климата различныхъ областей. Кромѣ того производимыя одновременно наблюденія отдѣльныхъ дней служатъ для изготовленія такъ называемыхъ синоптическихъ картъ. Онѣ даютъ для болѣе значительныхъ областей атмосферное давленіе, температуру, направленіе вѣтра и т. д. въ опредѣленное время сутокъ. Эти карты наглядно показываютъ состояніе погоды для одного момента и, сравнивъ карты двухъ послѣдовательныхъ дней, можно получить наглядное представленіе о томъ, какъ измѣнилось состояніе погоды въ теченіе сутокъ. Здѣсь мы должны ограничиться лишь указаніемъ на важнѣйшіе результаты этихъ наблюденій.

http://mathesis.ru

428. Въ измѣненіяхъ температуры и давленія атмосферы замѣчается извѣстная суточная и годовая періодичность, которая, однако, часто маскируется неправильными колебаніями. Послѣднія столь же характерны для климата даннаго мѣста, какъ и первыя. Вообще неправильности выступаютъ сильнѣе всего внѣ тропиковъ и особенно въ странахъ, лежащихъ на берегу моря.

Суточное колебаніе температуры, которая играетъ такую важную роль въ природѣ, достигаетъ наибольшей величины въ тропикахъ, особенно внутри материка. Это является естественнымъ слѣдствіемъ того обстоятельства, что на экваторѣ въ теченіе круглаго года дни и ночи одинаковы и солнце каждый день подымается почти до самаго зенита. Въ мѣстахъ, недалекихъ отъ экватора, условія мало отличаются отъ условій, господствующихъ на самомъ экваторѣ. Такъ какъ суша имѣетъ меньшую теплоёмкость, чѣмъ море, то и нагрѣвается и охлаждается она скорѣе послѣдняго. Нагрѣваніе же или охлажденіе земной поверхности передается также и воздуху, соприкасающемуся съ этой поверхностью.

Въ умѣренныхъ странахъ, напримѣръ, въ Даніи, суточное колебаніе температуры бываетъ больше всего лѣтомъ; при томъ оно различно въ разныхъ частяхъ страны. Разность между наибольшей и наименьшей температурами за сутки очень различна для мѣстъ, лежащихъ далеко отъ берега, какъ, Биркебэкъ въ Ютландіи, и для мѣстъ, лежащихъ вблизи берега, какъ Сандвигъ на Борнгольмѣ:

	Январь	Февраль	Мартъ	Апрѣль	Май	Іюнь
Биркебэкъ	7·5	6·4	8·7	11·9	13·8	13·4
Сандвигъ	3·1	3·2	3·6	4·8	6·2	6·2

	Іюль	Августъ	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Биркебэкъ	11·9	12·4	10·9	9·1	7·3	6·0
Сандвигъ	6·1	5·4	4·6	3·8	3·2	2·8

Наивысшая температура зимою бываетъ въ 1 часъ, лѣтомъ между 2 и 3 часами, а самая низкая температура за полчаса или за часъ до восхода солнца и, значитъ, лѣтомъ и зимою въ очень различное время. Эта разность между наивысшей и наинизшей температурами бываетъ особенно велика въ ясные дни.

429. Въ противоположность суточному колебанію, годовое измѣненіе температуры на экваторѣ незначительно. Проходитъ ли солнце черезъ самый зенитъ или немного сѣвернѣе или южнѣе его, это не имѣетъ особеннаго значенія, равно какъ и незначительное отклоненіе дня и ночи отъ равенства въ тѣхъ мѣстахъ, которыя лежатъ не на самомъ экваторѣ. Но въ умѣренныхъ странахъ, напримѣръ, въ Даніи, солнце лѣтомъ подымается на 58°, зимою же только на 11° надъ горизонтомъ и лѣтомъ дни втрое длиннѣе, чѣмъ зимою. Поэтому разница между лѣтней и зимней температурами сравнительно велика. И здѣсь огромное значеніе имѣетъ то обстоятельство, находится ли данное мѣсто внутри страны или же вблизи морского берега. Разница между средними температурами наиболѣе теплаго и наиболѣе холоднаго мѣсяца на Фарёрскихъ островахъ составляетъ только 7°, въ Даніи же 17°, въ С.-Петербургѣ 26°, а во многихъ мѣстахъ Сибири 50° и болѣе. Наиболѣе высокая

http://mathesis.ru

температура бываетъ спустя приблизительно мѣсяцъ послѣ лѣтняго солнцестоянія (въ іюлѣ), а наиболѣе низкая спустя мѣсяцъ послѣ зимняго солнцестоянія (въ январѣ).

430. На приложенныхъ въ концѣ этого тома картахъ распредѣленіе теплоты на земной поверхности представлено при помощи такъ называемыхъ изотермъ, т. е. линій, проведенныхъ черезъ тѣ мѣста, которыя имѣютъ одну и ту же среднюю температуру. Въ южномъ полушаріи условія довольно однообразны, т. е. изотермы идутъ почти прямолинейно, такъ какъ здѣсь мало материковъ. Напротивъ, въ сѣверномъ полушаріи огромные континенты производятъ въ январѣ сильное пониженіе, а въ іюлѣ сильное повышеніе температуры. Поясъ наибольшей температуры (24°) въ январѣ лежитъ на океанахъ по обѣ стороны экватора и притомъ большею своею частью въ южномъ полушаріи. Особенно далеко къ югу онъ идетъ въ Южной Америкѣ, Африкѣ и Австраліи. Лѣтомъ этотъ поясъ лежитъ, напротивъ, больше къ сѣверу отъ экватора, особенно на американскомъ и азіатскомъ материкахъ.

Наконецъ, нужно отмѣтить, что внѣ тропиковъ западные берега материковъ зимою бываютъ гораздо теплѣе, чѣмъ восточные. Главной причиной этого является то, что въ умѣренныхъ странахъ господствуютъ западные вѣтры, а вѣтры съ моря зимою бываютъ мягкими.

431. Въ тѣсной связи съ распредѣленіемъ тепла находится и распредѣленіе давленія атмосферы. Приложенныя карты наглядно показываютъ распредѣленіе давленія воздуха въ январѣ и іюлѣ. Черныя линіи представляютъ собою изобары, т. е. линіи, соединяющія тѣ мѣста, которыя имѣютъ одинаковое среднее давленіе. Въ распредѣленіи атмосфернаго давленія можно различить пять поясовъ. Одинъ поясъ низкаго давленія (голубой) простирается надъ тѣми областями, въ которыхъ лежитъ тепловой экваторъ,—въ январѣ южнѣе географическаго экватора съ выступами въ южныхъ материкахъ, въ іюлѣ къ сѣверу отъ экватора съ значительными выступами въ Азіи и въ Сѣверной Америкѣ.

По обѣимъ сторонамъ этой области лежитъ поясъ высокаго давленія. Въ южномъ полушаріи этотъ поясъ идетъ очень правильно. Поясъ сѣвернаго полушарія въ январѣ достигаетъ наибольшаго развитія надъ материками, а въ іюлѣ надъ морями. Въ январѣ материки холодны, въ іюлѣ же сравнительно прохладны моря.

За этими двумя поясами высокаго давленія идутъ два пояса низкаго давленія, изъ которыхъ, лежащій въ южномъ полушаріи, имѣетъ болѣе правильную форму, чѣмъ лежащій въ сѣверномъ полушаріи.

Истолкованіе

432. Карты температуръ и давленій даютъ лишь среднее состояніе для января и іюля, но только въ тропикахъ это среднее состояніе является и общимъ состояніемъ, чего, конечно, нельзя увидѣть на картахъ. Только въ тропикахъ распредѣленіе тепла и давленія почти всегда таково, какимъ его даютъ карты. Въ отдѣльныхъ мѣстахъ, конечно, встрѣчаются отклоненія, иногда даже очень значительныя, но все это только исключенія изъ общаго правила.

Напротивъ, въ умѣренныхъ и въ холодныхъ странахъ состояніе почти никогда не бываетъ такимъ, какимъ оно показано на картахъ. Давленіе воздуха постоянно измѣняется и эти измѣненія, какъ мы увидимъ, стоятъ въ тѣсной связи съ вѣтрами. Прошло много времени, прежде чѣмъ замѣтили эту связь, хотя и въ первыя времена

http://mathesis.ru

послѣ изобрѣтенія барометра не было недостатка въ попыткахъ объяснить связь между высотой барометра и состояніемъ погоды. При этихъ попыткахъ прибѣгали къ скрытымъ силамъ, къ исходящимъ изъ внутренности земли парамъ, либо приписывали атмосферѣ удлиненную въ направленіи отъ полюса къ полюсу форму, въ силу чего сѣверные вѣтры, обрушиваясь съ высоты, должны были производить сильное давленіе.

433. Правильно понимать эти соотношенія стали благодаря наблюденіямъ, которыя производились въ тропикахъ, гдѣ условія проще всего. Опираясь на собственный опытъ, Галлей (§ 226) далъ прекрасное описаніе пассатовъ и муссоновъ. Онъ пытался объяснить первые слѣдующимъ образомъ.

Въ соотвѣтствіи съ суточнымъ движеніемъ солнца вокругъ земли (для настоящихъ выводовъ не имѣетъ значенія, что это движеніе только кажущееся) нагрѣваніе земли идетъ постепенно съ востока на западъ. Нагрѣваясь, масса воздуха должна занимать больше мѣста. По направленію къ востоку она не можетъ двигаться, такъ какъ ея нагрѣваніе идетъ оттуда. Не можетъ она двигаться и къ сѣверу и югу, такъ какъ и здѣсь происходитъ нагрѣваніе, хотя и менѣе значительное, чѣмъ на экваторѣ. Такимъ образомъ она должна уходить къ западу, гдѣ нагрѣваніе еще не началось. Вслѣдствіе этого пассатный вѣтеръ является въ сущности западнымъ вѣтромъ.

Что это объясненіе невѣрно, вытекаетъ изъ того, что въ самомъ тепломъ мѣстѣ (на тепловомъ экваторѣ) пассата нѣтъ.

434. Гораздо счастливѣе былъ современникъ Галлея Джорджъ Гадлей, помѣстившій въ 1735 году въ изданіяхъ Royal Society свое объясненіе пассатовъ и муссоновъ, къ сожалѣнію долго остававшееся незамѣченнымъ. Позднѣе, когда это объясненіе оказалось правильнымъ, честь его открытія часто приписывалась, вслѣдствіе смѣшенія именъ, Галлею.

Тамъ, гдѣ воздухъ нагрѣвается сильнѣе всего (на тепловомъ экваторѣ) онъ расширяется больше всего и потому здѣсь имѣетъ наименьшую плотность. Вслѣдствіе этого болѣе холодный воздухъ притекаетъ съ обѣихъ сторонъ къ экватору и вытѣсняетъ теплый воздухъ вверхъ. Такимъ образомъ, на экваторѣ образуется восходящее воздушное теченіе. Но воздухъ, притекающій къ экватору, приходитъ къ такимъ мѣстамъ земной поверхности, которыя отстоятъ отъ земной оси дальше и потому имѣютъ бóльшую скорость въ направленіи съ востока на западъ, чѣмъ притекающій воздухъ. Послѣдній не можетъ поспѣвать за болѣе быстрымъ движеніемъ земли и потому ощущается, какъ вѣтеръ обратнаго направленія, т. е. вѣтеръ, который къ сѣверу отъ экватора долженъ быть сѣвернымъ вѣтромъ, становится сѣверовосточнымъ, а вѣтеръ, который къ югу отъ экватора долженъ быть южнымъ, становится юговосточнымъ. Первый представляетъ собою сѣверовосточный пассатъ, послѣдній юговосточный.

Сходнымъ образомъ Гадлей объяснялъ и возникновеніе муссоновъ, которые правильно дуютъ въ Индіи и въ другихъ странахъ, мѣняя свое направленіе каждое полугодіе. Зимою наиболѣе высокая температура бываетъ къ югу отъ Индіи. Согласно приведенному выше объясненію здѣсь долженъ, значитъ, дуть сѣверовосточный вѣтеръ. Напротивъ, лѣтомъ температура бываетъ выше всего надъ азіатскимъ материкомъ, къ сѣверу отъ Индостана. Такимъ образомъ, воздухъ въ этихъ странахъ долженъ двигаться съ юга. Но такъ какъ, удаляясь отъ экватора, воздухъ перемѣщается въ области, движущіяся къ востоку съ меньшей скоростью, то онъ долженъ обгонять эти области и потому южный вѣтеръ обращается въ югозападный.

http://mathesis.ru

435. Воздухъ, подымающійся вверхъ въ экваторіальныхъ странахъ, отсюда стекаетъ къ сѣверу и къ югу и, слѣдовательно, переходитъ въ области съ меньшей скоростью, нежели та, которую имѣетъ этотъ воздухъ и которая есть скорость экватора. Такимъ образомъ, воздухъ обгоняетъ эти страны и его теченіе въ сѣверномъ полушаріи обращается въ югозападный вѣтеръ, а въ южномъ въ сѣверозападный. Эти вѣтры образуютъ въ болѣе высокихъ слояхъ антипассатъ. Онъ обнаруживается, между прочимъ, тѣмъ, что высокія облака движутся здѣсь въ направленіи, противоположномъ пассату. На очень высокихъ островахъ, лежащихъ въ области пассата, какъ, напримѣръ, на островѣ Тенерифѣ, на вершинахъ господствуетъ антипассатъ. Въ областяхъ высокаго давленія онъ постепенно спускается къ поверхности земли (уровню моря).

436. Съ объясненіемъ явленій внѣ тропиковъ до средины XIX столѣтія дѣло обстояло плохо. Былъ распространенъ взглядъ, что огромная разница въ условіяхъ вѣтра въ тропической зонѣ и внѣ ея въ сущности состоитъ въ томъ, что два большихъ теченія, пассатъ и антипассатъ, въ умѣренныхъ странахъ идутъ не другъ надъ другомъ, какъ въ тропикахъ, а рядомъ другъ около друга и притомъ постоянно мѣняютъ свое положеніе, такъ что мы попадаемъ то въ полярный сѣверовосточный вѣтеръ, то въ экваторіальный югозападный. Тому, какъ эти вѣтры вытѣсняютъ другъ друга, давали чрезвычайно странныя объясненія.

Такъ какъ было замѣчено, что иногда восточный вѣтеръ сначала наблюдается въ Англіи, затѣмъ въ Даніи и, наконецъ, въ Петербургѣ, что онъ, такъ сказать, отступаетъ назадъ, то ввели удивительное понятіе о „всасывающихъ вѣтрахъ“.

Всѣ эти взгляды были устранены и замѣнены очень простой вещью благодаря установленію закона Байсъ-Балло.

437. Различные метеорологи, какъ, напримѣръ, американецъ Коффинъ (род. 1815), нашли, что вѣтеръ дуетъ не изъ мѣста высокаго давленія (максимума) въ мѣсто низкаго давленія (минимумъ), какъ слѣдовало бы думать. Эти соотношенія были вполнѣ объяснены голландцемъ Байсъ-Балло. Онъ жилъ съ 1817 до 1890 года и былъ профессоромъ математики и директоромъ метеорологическаго института въ Утрехтѣ.

Байсъ-Балло былъ однимъ изъ тѣхъ естествоиспытателей, которые прежде всего вопрошаютъ самоё природу. Онъ съ большимъ усердіемъ собиралъ большое количество метеорологическихъ наблюденій. Онъ наносилъ полученныя въ одно и то же время наблюденія на карту и такимъ образомъ нашелъ, что вѣтеръ направляется къ мѣсту наименьшаго давленія лишь приблизительно, а не вполнѣ точно и при этомъ (въ сѣверномъ полушаріи) отклоняется вправо, нерѣдко отходя отъ направленія къ минимуму давленія на 60°—80°. Такимъ образомъ, если идти по вѣтру или обратиться къ вѣтру спиной, то мѣсто низкаго давленія (барометрическій минимумъ) находится влѣво и притомъ довольно далеко.

438. Такое направленіе вѣтра является слѣдствіемъ того, что всякое движущееся тѣло въ сѣверномъ полушаріи имѣетъ стремленіе уклониться вправо отъ первоначальнаго направленія движенія.

Для того чтобы возможно проще объяснить это явленіе, мы прежде всего должны представить себѣ, какъ дѣйствуетъ вращеніе земли на тѣло, находящееся въ покоѣ. Можно вообразить себѣ, что это тѣло плаваетъ на спокойной водѣ, напри-

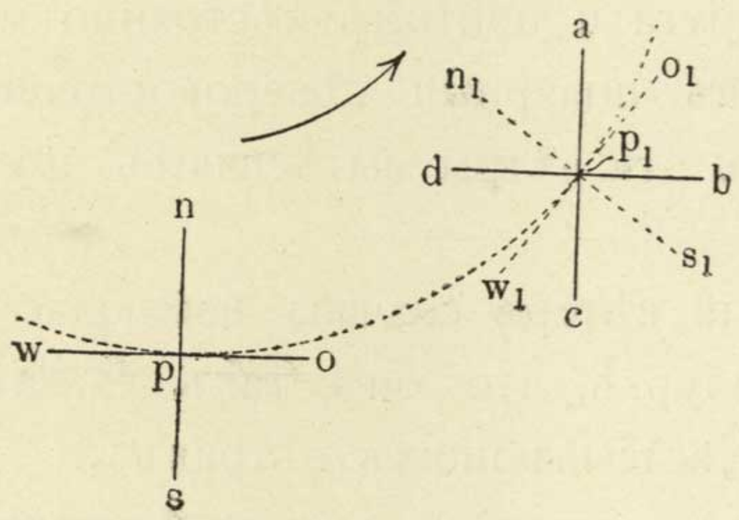
http://mathesis.ru

мѣръ, на поверхности маленькаго озера. Центробѣжная сила, конечно, стремится удалить его отъ земной оси въ сторону экватора и, слѣдовательно, стремится перемѣстить его къ южному берегу озера. Но поверхность озера также приняла форму, соотвѣтствующую дѣйствію центробѣжной силы. Южный берегъ какъ разъ настолько дальше отъ центра земли, чѣмъ сѣверный, что вода уже не устремляется къ южному берегу. Поэтому и плавающее на поверхности воды тѣло не имѣетъ стремленія двигаться къ югу.

Но если тѣло обладаетъ собственнымъ движеніемъ, то можно найти то мѣсто, куда оно приходитъ, если приложить это движеніе просто въ томъ мѣстѣ, котораго тѣло достигло бы черезъ данный промежутокъ времени, не обладай оно собственнымъ движеніемъ.

Пусть *o* (рис. 370) будетъ ось земли, видимая съ сѣвернаго полюса, *p* мѣсто, гдѣ тѣло находится въ данный моментъ, p_1 мѣсто, гдѣ оно находится спустя нѣсколько времени вслѣдствіе вращенія земли въ направленіи стрѣлки. Представимъ себѣ, что мы изъ *p* двинули одно тѣло въ направленіи къ сѣверу *n*, другое къ востоку *o*, третье къ югу *s* и четвертое къ западу *w*. Когда мы затѣмъ перемѣстимся въ точку p_1 эти тѣла будутъ находиться въ точкахъ *a*, *b*, *c* и *d*. Такимъ образомъ *a* удалится отъ сѣвера n_1 вправо; такимъ же образомъ *b* отклонится вправо отъ востока o_1, *c* отъ юга s_1 и *d* отъ запада w_1.

Рис. 370



Еслибы мы смотрѣли на земную ось съ южнаго полюса, то стрѣлка должна была бы имѣть обратное направленіе и движеніе тѣла должно было бы уклоняться влѣво.

Примѣръ такихъ отклоненій представляютъ большія морскія теченія. Въ сѣверной части Атлантическаго и въ Тихомъ океанѣ преобладаютъ такія отклоненія вправо, въ южныхъ моряхъ влѣво. Въ болѣе ограниченныхъ частяхъ морей, конечно, берега и мелкія мѣста вызываютъ значительныя отступленія отъ этого.

439. Законъ Байсъ-Балло по существу имѣетъ мѣсто только для распредѣленія давленій въ данный моментъ и для опредѣляемаго этимъ направленія вѣтра; но его можно приложить также и къ среднему расположенію давленій и, соотвѣтственно этому, къ господствующимъ направленіямъ вѣтровъ. По ходу изобаръ для января и іюля можно сдѣлать довольно надежное заключеніе, какіе вѣтры должны быть господствующими въ эти мѣсяцы въ любомъ мѣстѣ.

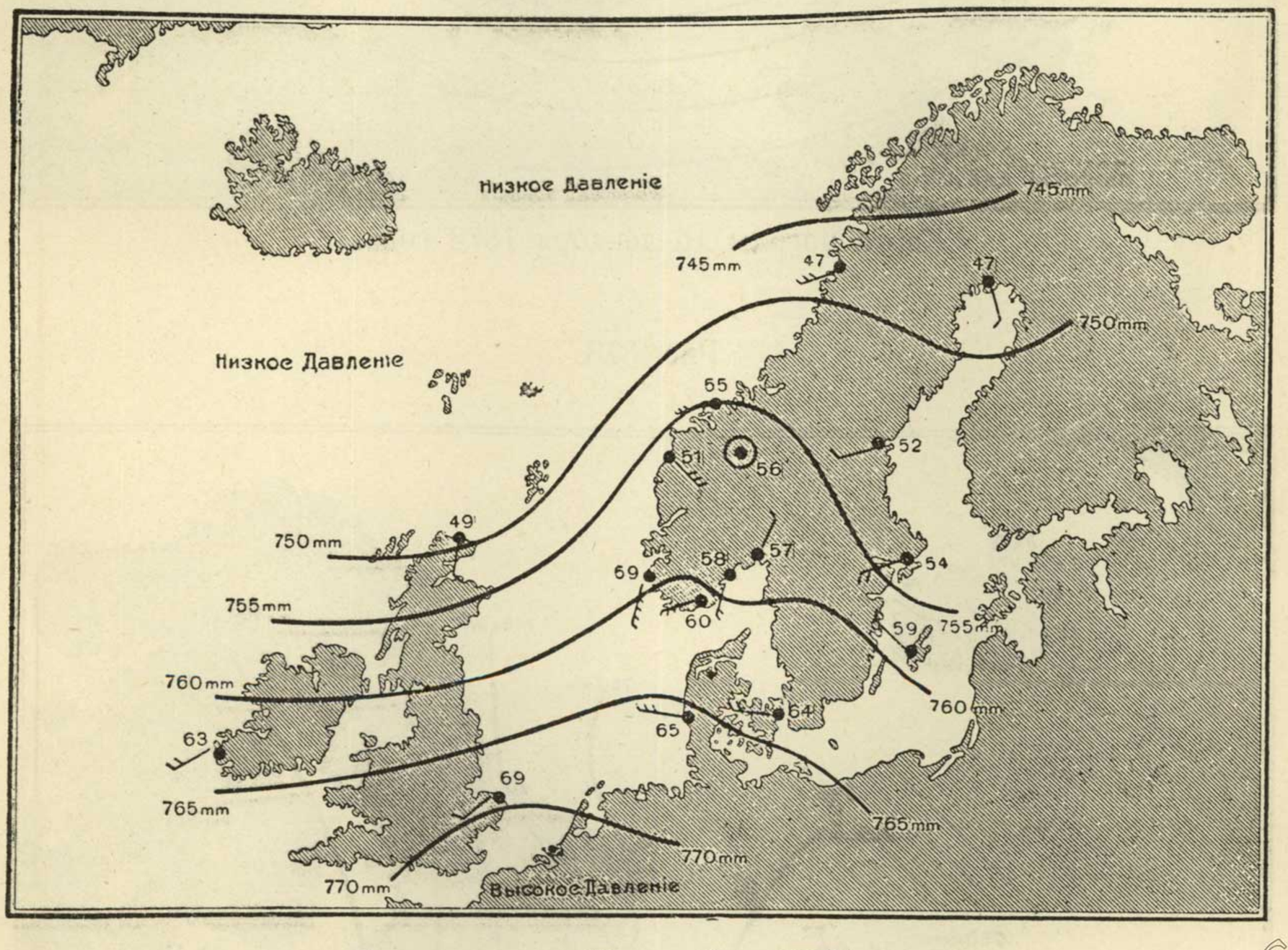
Пассаты и муссоны, какъ показываетъ одинъ взглядъ на карту, также находятъ объясненіе въ законѣ Байсъ-Балло. Здѣсь состояніе длится извѣстное время. Но и внѣ тропиковъ, гдѣ состояніе атмосферы перемѣнчиво, изобары указываютъ преобладающее направленіе вѣтра. Напримѣръ, въ Даніи господствуетъ въ январѣ юго-западный вѣтеръ, а въ іюлѣ западный. Выраженная въ процентахъ частота вѣтровъ слѣдующая:

http://mathesis.ru

	Январь	Февраль	Мартъ	Апрѣль	Май	Іюнь	Іюль	Августъ	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
С	5	5	8	7	8	8	5	5	5	5	7	6
СВ	9	10	10	14	10	7	4	5	6	9	11	9
В	11	14	13	19	10	9	5	8	8	14	10	11
ЮВ	12	15	12	14	10	9	9	10	13	14	13	12
Ю	13	13	9	8	8	7	9	10	12	11	13	11
ЮЗ	22	18	15	11	15	14	17	17	19	18	20	20
З	17	15	17	12	19	22	26	23	19	14	14	19
СЗ	9	8	13	11	16	19	20	17	14	12	9	10
штиль . . .	2	2	3	4	4	5	5	5	4	3	3	2

440. Но полную свою силу законъ Байсъ-Балло обнаруживаетъ только въ синоптическихъ картахъ, которыя показываютъ состояніе погоды въ данный моментъ для болѣе значительной части земной поверхности.

Рис. 371



Карта погоды 15 декабря 1873 года.

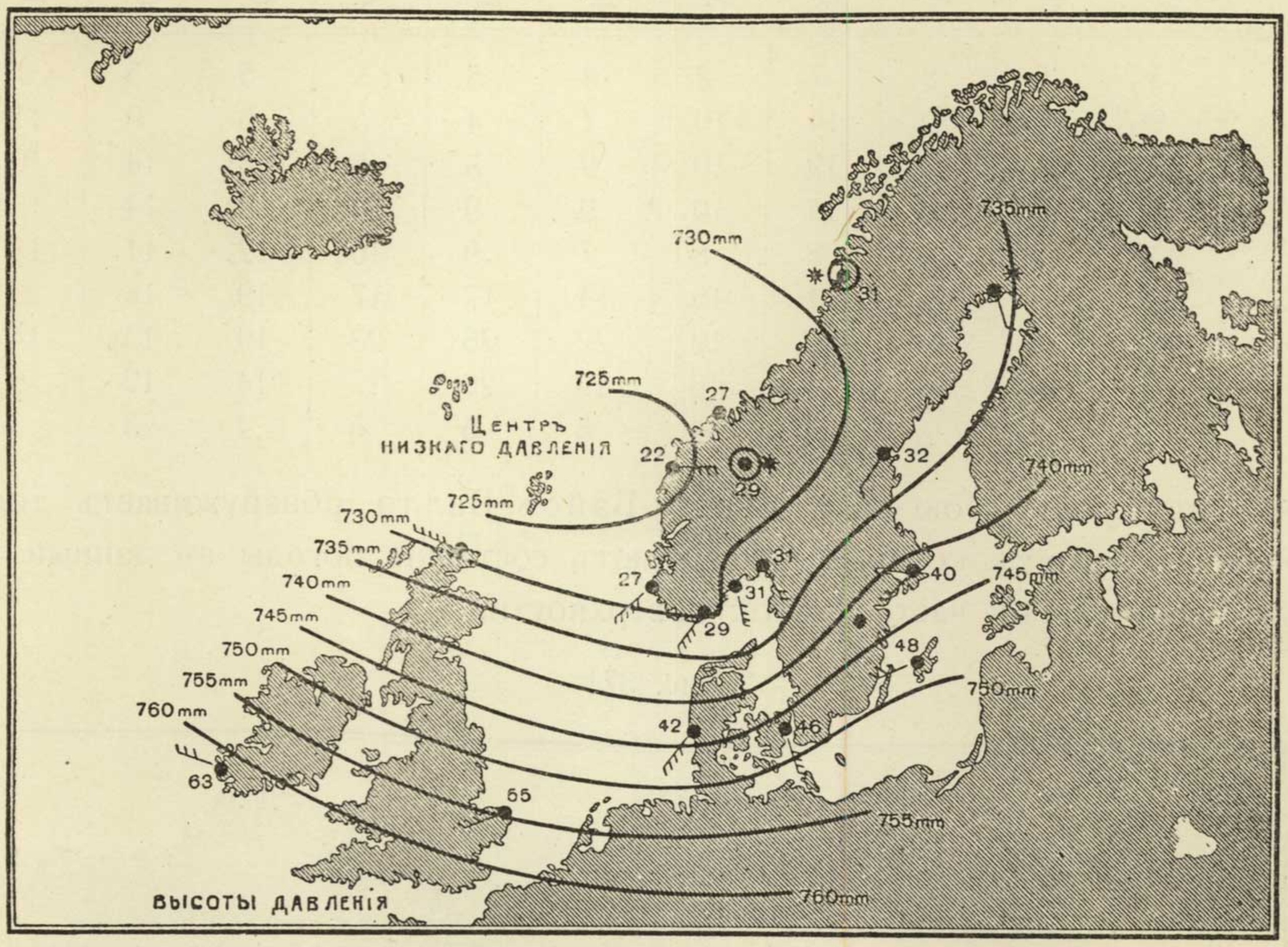
Такого рода карты изготовляются ежедневно въ метеорологическихъ институтахъ на основаніи доставляемыхъ по телеграфу извѣстій. Датскій метеорологическій институтъ былъ основанъ въ 1872 году [1]). Рисунки 371, 372 и 373 указываютъ состояніе погоды для трехъ послѣдовательныхъ дней (въ 8 часовъ утра). Отдѣльныя наблюдательныя станціи обозначены небольшими кружками, которые зачернены со-

[1]) Въ Россіи такимъ институтомъ является Николаевская Главная Физическая Обсерваторія въ С.-Петербургѣ, основанная въ 1857 году.

http://mathesis.ru

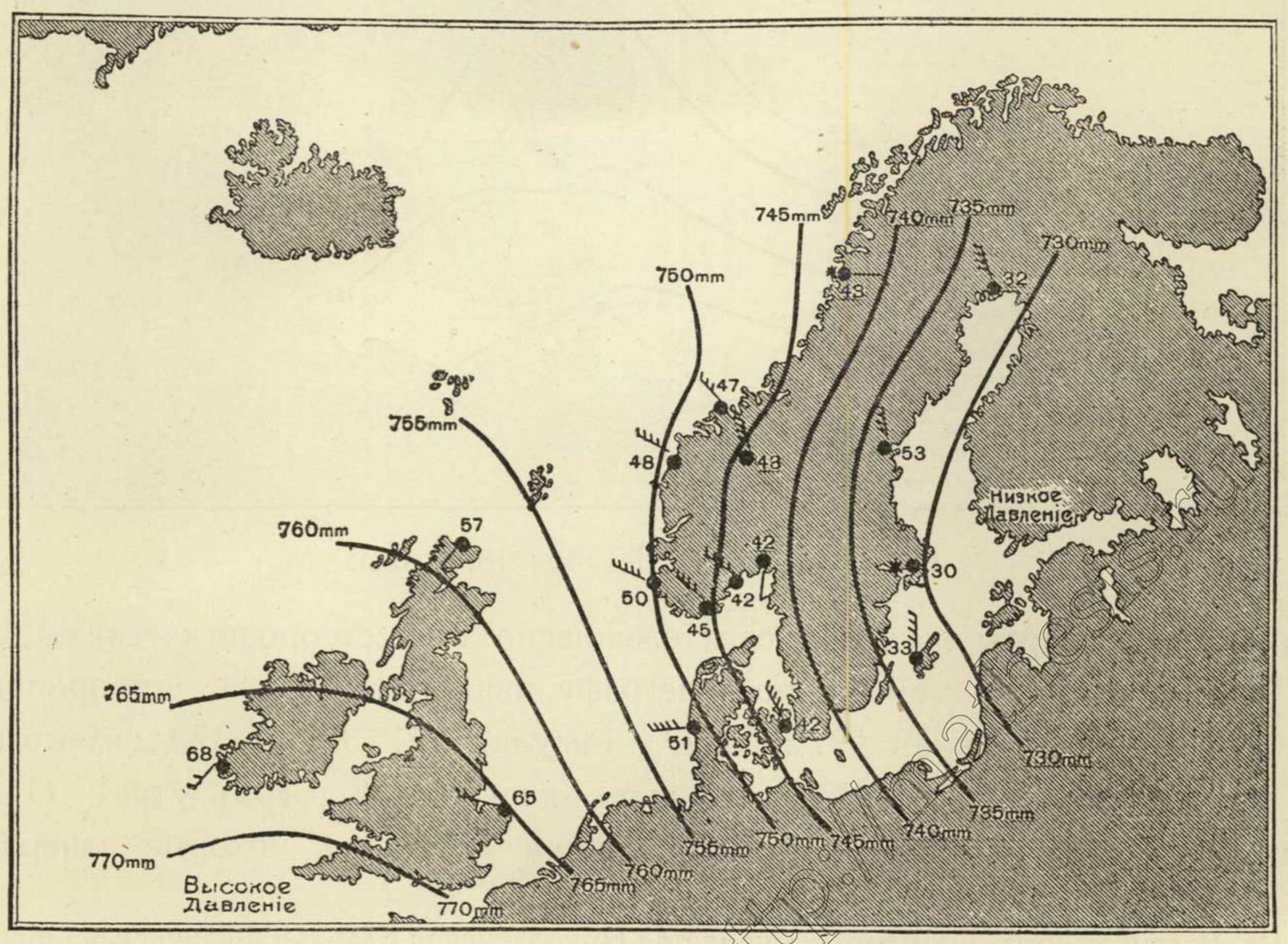
отвѣтственно облачности (на четверть, на половину или совсѣмъ). Направленіе вѣтра на каждой станціи обозначено стрѣлкой (направленной по вѣтру). Число перьевъ на

Рис. 372



Карта погоды 16 декабря 1873 года.

Рис. 373



Карта погоды 17 декабря 1873 года.

стрѣлкѣ даетъ силу вѣтра (1 означаетъ слабый вѣтеръ, 6 ураганъ). Штиль означается кружкомъ вокругъ станціи, дождь точкой, снѣгъ звѣздочкой.

Если не всѣ стрѣлки на этихъ картахъ имѣютъ такое направленіе, какое слѣдуетъ по закону Байсъ-Балло, то причиной этого отчасти является то, что вѣтеръ испытываетъ отклоненіе со стороны горъ, отчасти же то, что изобары начерчены не съ такими большими кривизнами, какія были бы при большемъ числѣ наблюдательныхъ станцій. Поэтому эти отклоненія можно считать лишь кажущимися исключеніями изъ правила.

Восходящія и нисходящія теченія

441. Теченіе въ воздушномъ океанѣ обусловливается главнымъ образомъ теплотою. Но здѣсь условія иныя, чѣмъ при теченіяхъ въ жидкостяхъ.

Соотвѣтственно тому, холоднѣе ли нижніе слои, такой же они температуры или теплѣе верхнихъ, жидкость находится въ устойчивомъ, безразличномъ или неустойчивомъ равновѣсіи. Если помѣстить наверху болѣе холодную жидкость, то въ силу своего бо́льшаго удѣльнаго вѣса она опустится внизъ. Если наиболѣе нагрѣтъ нижній слой жидкости, то равновѣсіе можетъ быть только въ томъ случаѣ, когда раздѣляющая поверхность между слоями различныхъ температуръ представляетъ горизонтальную плоскость. Отъ самаго ничтожнаго возвышенія на поверхности, раздѣляющей болѣе холодный и болѣе теплый слои, теплая жидкость подымается еще больше, получается прорывъ поверхности и вся остальная теплая жидкость уходитъ вверхъ. Такимъ образомъ, здѣсь равновѣсіе неустойчиво. Если жидкость имѣетъ одну и ту же температуру вездѣ, то, конечно, она находится въ безразличномъ равновѣсіи.

442. Напротивъ, если воздухъ перемѣщается съ поверхности земли вверхъ, его давленіе дѣлается меньше и онъ расширяется. Такимъ образомъ онъ производитъ работу и потому охлаждается. Это охлажденіе составляетъ около 1^0 на 100 *м*. Если же воздухъ, находящійся вверху, имѣетъ ту же температуру, съ какой до него восходитъ подымающійся воздухъ, то послѣдній перестаетъ подыматься и не опускается обратно. Слѣдовательно, воздухъ находится въ безразличномъ равновѣсіи, если температура уменьшается на 1^0 на каждые 100 *м* поднятія.

Если воздухъ внизу холоднѣе того, какимъ онъ долженъ былъ бы быть соотвѣтственно указанному отношенію, то онъ находится въ устойчивомъ равновѣсіи. Въ самомъ дѣлѣ, еслибы онъ былъ перемѣщенъ вверхъ, то онъ былъ бы холоднѣе воздуха, находящагося вверху, и потому долженъ былъ бы снова опуститься. Если же воздухъ внизу теплѣе, чѣмъ слѣдовало бы по указанному отношенію, то онъ находится въ неустойчивомъ равновѣсіи. Въ самомъ дѣлѣ, будучи перенесенъ на высоту, онъ былъ бы теплѣе находящагося тамъ воздуха и потому долженъ былъ бы продолжать подыматься.

443. На эти условія оказываетъ большое вліяніе содержаніе въ воздухѣ водяныхъ паровъ.

Если воздухъ у поверхности земли не насыщенъ водянымъ паромъ, то его условія незначительно отличаются отъ условій сухого воздуха. Но если онъ насыщенъ у поверхности или достигаетъ температуры насыщенія (точки росы) вслѣдствіе

http://mathesis.ru

охлажденія при поднятіи, то дальнѣйшій подъемъ долженъ вызывать конденсацію водяного пара. А такъ какъ это освобождаетъ теплоту, то насыщенный водянымъ паромъ воздухъ при поднятіи охлаждается не такъ сильно, какъ сухой. Воздухъ, насыщенный водянымъ паромъ при 0^0, охлаждается при поднятіи на 100 *м* только на $0{\cdot}63^0$, а воздухъ, насыщенный при 20^0, только на $0{\cdot}45^0$. Такимъ образомъ, если воздухъ подымается отъ поверхности земли въ видѣ вертикальнаго столба, то его температура убываетъ съ высотою медленно. Такого рода столбъ часто будетъ на высотѣ теплѣе того воздуха, въ который онъ вступаетъ. Поэтому онъ нерѣдко будетъ удлиняться вверхъ и вслѣдствіе выдѣленія водяного пара будетъ наполняться туманомъ, т. е. будетъ способствовать образованію облаковъ.

Изъ сказаннаго легко понять, что при опусканіи воздушной массы ея температура подымается и притомъ довольно медленно, пока эта масса еще содержитъ облака, на испареніе которыхъ уходитъ тепло. Но какъ только облака исчезли, ея температура подымается на 1^0 на каждые 100 *м*. Это очень просто объясняетъ теплый вѣтеръ на сѣверномъ склонѣ Альповъ, который извѣстенъ подъ названіемъ фёна и который раньше считали воздушнымъ теченіемъ, идущимъ изъ Африки. Такимъ же образомъ объясняется и существованіе теплыхъ восточныхъ вѣтровъ на западномъ берегу Гренландіи, которые вызвали у нѣкоторыхъ предположеніе, что внутренность Гренландіи имѣетъ райскій климатъ.

444. Въ различныхъ мѣстностяхъ земли можно найти много примѣровъ малыхъ и большихъ быстро восходящихъ воздушныхъ теченій, которыя обнаруживаются обыкновенно съ гораздо большей интенсивностью, чѣмъ нисходящія. Первыя обыкновенно сопровождаются образованіемъ облаковъ и осадками, послѣднія яснымъ небомъ.

Образованію восходящихъ и нисходящихъ воздушныхъ теченій могутъ способствовать возвышенности земной поверхности. Напримѣръ, въ Норвегіи западный вѣтеръ является восходящимъ теченіемъ въ западной части страны, и нисходящимъ въ восточной. Въ первой части наблюдаются облака и осадки, вторая получаетъ болѣе теплую погоду. Съ восточнымъ вѣтромъ происходитъ обратное.

Дождь бываетъ, конечно, тѣмъ сильнѣе, чѣмъ болѣе влаженъ воздухъ и чѣмъ выше подымается воздушный столбъ. Такъ какъ въ сѣверной Европѣ западные вѣтры чаще и влажнѣе восточныхъ, то на западномъ склонѣ горъ въ Норвегіи выпадаетъ гораздо больше дождя (1000—2000 *мм*), чѣмъ на восточномъ склонѣ (300—600 *мм*).

Даже незначительное поднятіе на возвышенностяхъ Даніи отчетливо отражается на количествѣ дождя, особенно осенью, когда воздухъ бываетъ ближе всего къ точкѣ насыщенія и когда облака образуются на незначительной высотѣ (рис. 374).

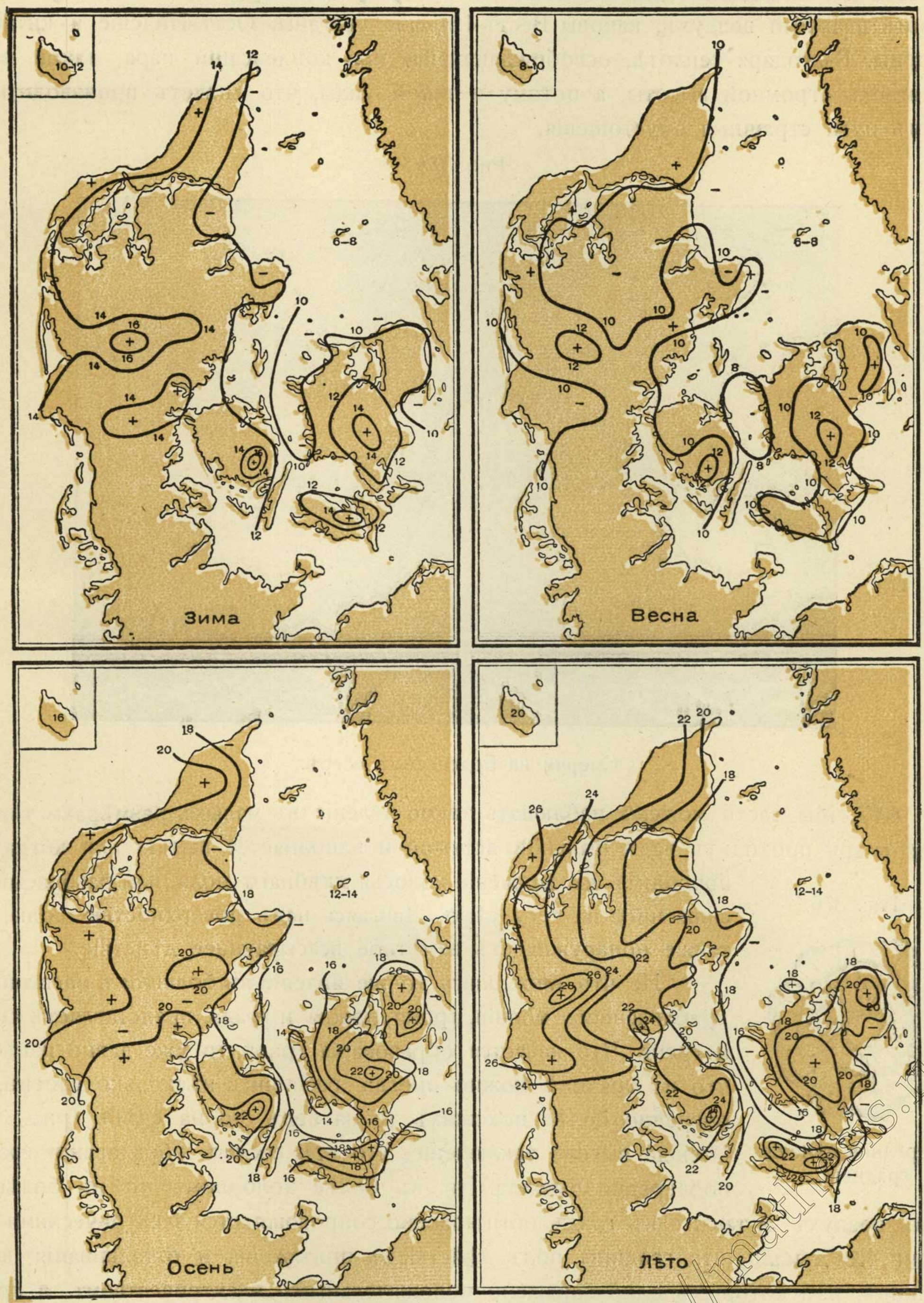
Подобнымъ же образомъ объясняются и страшные проливные дожди во время юго-западнаго муссона въ Передней Индіи, напримѣръ, на Малабарскомъ берегу (6000 *мм*) и на склонѣ Гиммалаевъ (до 14000 *мм* за нѣсколько мѣсяцевъ).

445. Но и въ открытомъ воздушномъ океанѣ наблюдается много примѣровъ восходящихъ воздушныхъ теченій. Одно изъ нихъ, а именно, восходящее теченіе на экваторѣ, уже было упомянуто. Принявъ въ себя большое количество водяного пара, пассатъ подымается вверхъ и производитъ страшные дожди. Это происходитъ въ удлиненной полосѣ, притомъ главнымъ образомъ надъ открытымъ океаномъ. Въ другихъ случаяхъ восходящія воздушныя теченія легко образуютъ болѣе или менѣе крупные вихри, направленіе движенія которыхъ опредѣляется закономъ Байсъ-Балло

http://mathesis.ru

(въ сѣверномъ полушаріи въ направленіи навстрѣчу движенія часовой стрѣлки). Характеръ этихъ вихрей въ значительной степени обусловливается мѣстными условіями и временемъ года.

Рис. 374

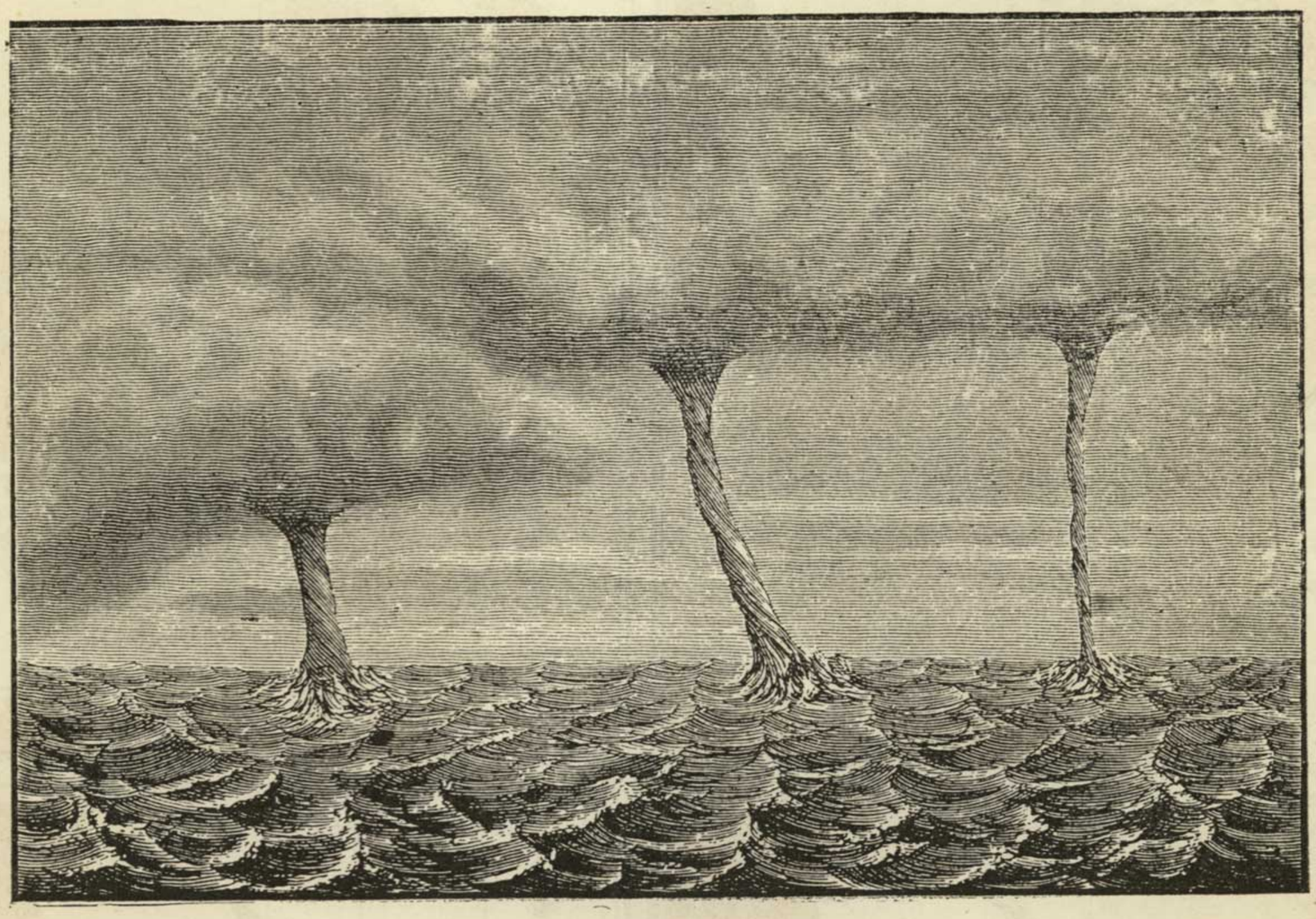


Распредѣленіе осадковъ въ Даніи по четыремъ временамъ года.

446. Въ Сахарѣ, гдѣ солнечные лучи нагрѣваютъ песокъ почти до температуры кипѣнія воды, нижній сильно нагрѣтый слой воздуха можетъ сразу понестись

вверхъ, увлекая съ собою песокъ и дѣлаясь отъ того еще болѣе теплымъ. Образующійся такимъ образомъ вѣтеръ носитъ названіе самума. Воздухъ въ этихъ случаяхъ бываетъ такъ сухъ, что его вдыханіе можетъ вызвать смерть отъ высыханія легкихъ. Въ отношеніи силы онъ значительно уступаетъ тропическимъ вихрямъ, несущимъ влажный воздухъ, каковы Вестъ-Индскіе ураганы, Остъ-Индскіе и китайскіе тайфуны. Благодаря теплотѣ, освобождающейся при конденсаціи пара, такой вихрь достигаетъ огромной высоты, а потому и такой силы, что можетъ производить на своемъ пути страшныя опустошенія.

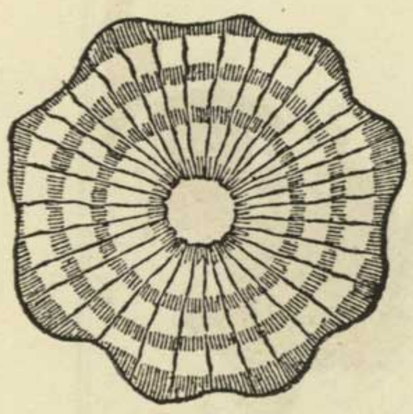
Рис. 375



Смерчи на Боденскомъ озерѣ.

447. Мы часто можемъ наблюдать такое явленіе въ малыхъ размѣрахъ лѣтомъ, когда вихрь проходитъ надъ пыльной дорогой и наполняется пылью, или когда онъ приводитъ въ движеніе колосья хлѣбнаго поля, или разбрасываетъ сложенное на лугу сѣно. Двигаясь надъ поверхностью воды, онъ также обнаруживаетъ замѣтное всасывающее дѣйствіе.

Рис. 376



Поперечное сѣченіе градины.

Не что иное, какъ то же явленіе въ большомъ масштабѣ съ прибавленіемъ молніи, грома, дождя и града, представляетъ собою и гроза. Что касается образованія града, то уже давно извѣстно, что въ градинѣ можно иногда различить нѣсколько слоевъ, поочередно болѣе похожихъ то на ледъ, то на снѣгъ (рис. 376). Отсюда вывели заключеніе, что при своемъ образованіи градина поочередно бываетъ то въ болѣе холодномъ, то въ болѣе тепломъ воздухѣ. А такъ какъ градъ обыкновенно сопровождается электрическими разрядами, то думали, что градины подъ дѣйствіемъ притяженія и отталкиванія двухъ облаковъ, изъ которыхъ одно заряжено положительнымъ электричествомъ, а другое отрицательнымъ, движутся вверхъ и внизъ, пока, наконецъ, не становятся такими тяжелыми, что должны упасть на землю сквозь нижнее облако. Правильность этой теоріи, предложенной Вольтой, весьма мало вѣроятна. Но если подумать, съ какой

http://mathesis.ru

силой вихри могутъ подымать на высоту тяжелые предметы, то не покажется удивительнымъ, что они могутъ увлекать съ собою и градины. На высотѣ воздухъ расходится по всѣмъ направленіямъ, вѣтеръ слабѣетъ и градины начинаютъ падать внизъ. Но прежде чѣмъ достигнуть земли, онѣ, быть можетъ, снова подхватываются восходящимъ теченіемъ въ вихрѣ и это можетъ, пожалуй, повториться нѣсколько разъ. Поэтому градъ выпадаетъ не въ серединѣ вихря, а на окружности большихъ размѣровъ и, когда градовая буря проходитъ надъ мѣстностью, то наибольшее количество града обыкновенно бываетъ на двухъ полосахъ по сторонамъ пути, пройденнаго серединой вихря.

448. Разсматривая карты погоды, часто можно замѣтить, что область низкаго давленія окружена довольно правильно идущими кольцеобразными изобарами, а потому и вѣтрами, которые располагаются по кругу около этого мѣста и медленно приближаются къ нему. Такимъ образомъ, мы здѣсь встрѣчаемся съ большимъ вихремъ, поперечникъ котораго можетъ достигать сотенъ миль. Около мѣстъ съ высокимъ давленіемъ изобары обыкновенно не имѣютъ формы круговъ и располагаются не такъ густо другъ около друга, какъ вокругъ мѣстъ съ низкимъ давленіемъ. Въ мѣстахъ съ низкимъ давленіемъ, надо думать, мы имѣемъ восходящее, въ мѣстахъ съ высокимъ давленіемъ нисходящее воздушное теченіе. Въ первыхъ небо облачно, во вторыхъ ясно.

Распредѣленіе давленія постоянно измѣняется, притомъ быстрѣе всего обыкновенно въ мѣстѣ минимума. Послѣдній мѣняетъ свое положеніе со дня на день. Въ нашихъ странахъ онъ обыкновенно движется съ запада на востокъ (см. рис. 371—373). Такой вихрь сначала приноситъ намъ южный вѣтеръ. Если вихрь проходитъ къ сѣверу отъ насъ, то вѣтеръ поворачиваетъ отъ юга къ западу и дальше. Если же вихрь проходитъ къ югу отъ насъ, напримѣръ, надъ Франціей и Германіей, то вѣтеръ у насъ поворачиваетъ съ юга на востокъ. Въ этомъ случаѣ наблюдается восточный вѣтеръ сначала въ Англіи, затѣмъ въ Даніи и, наконецъ, въ Петербургѣ, т. е. мы имѣемъ то явленіе, которое раньше обозначалось именемъ всасывающаго вѣтра (ср. § 436).

449. Прежде думали, что передвиженіе этихъ вихрей является слѣдствіемъ того, что въ нашихъ странахъ воздушное теченіе, въ которомъ вихри какъ бы плывутъ, направлено по преимуществу съ запада на востокъ. Но не такъ давно профессоръ Монъ (род. 1835) въ Христіаніи доказалъ, что это перемѣщеніе вихря есть слѣдствіе постоянно продолжающагося новообразованія. Въ томъ мѣстѣ вихря, гдѣ въ послѣдній поступаетъ теплый и влажный воздухъ, образуется, такъ сказать, новый центръ вихря. Въ нашихъ странахъ особенной теплотой и влажностью отличается южный вѣтеръ, а такъ какъ этотъ вѣтеръ дуетъ въ восточной части вихря, то послѣдній и движется въ направленіи къ востоку. Такимъ образомъ восточная часть вихря есть его „передняя“ часть. Напротивъ, холодные сѣверные вѣтры, дующіе въ „задней“ половинѣ вихря, уничтожаютъ здѣсь вихрь. Съ этимъ согласуется и то, что въ передней части вихря господствуетъ дождливая погода, въ задней же, напротивъ, ясная.

Совершенно то же происходитъ и съ движеніемъ грозъ. Какъ извѣстно, онѣ идутъ не по направленію вихря, а часто даже въ противоположномъ, такъ какъ онѣ перемѣщаются туда, гдѣ находятъ пищу для новаго образованія, а именно, гдѣ есть много водяныхъ паровъ. Равнымъ образомъ извѣстно, что во многихъ мѣстахъ грозы

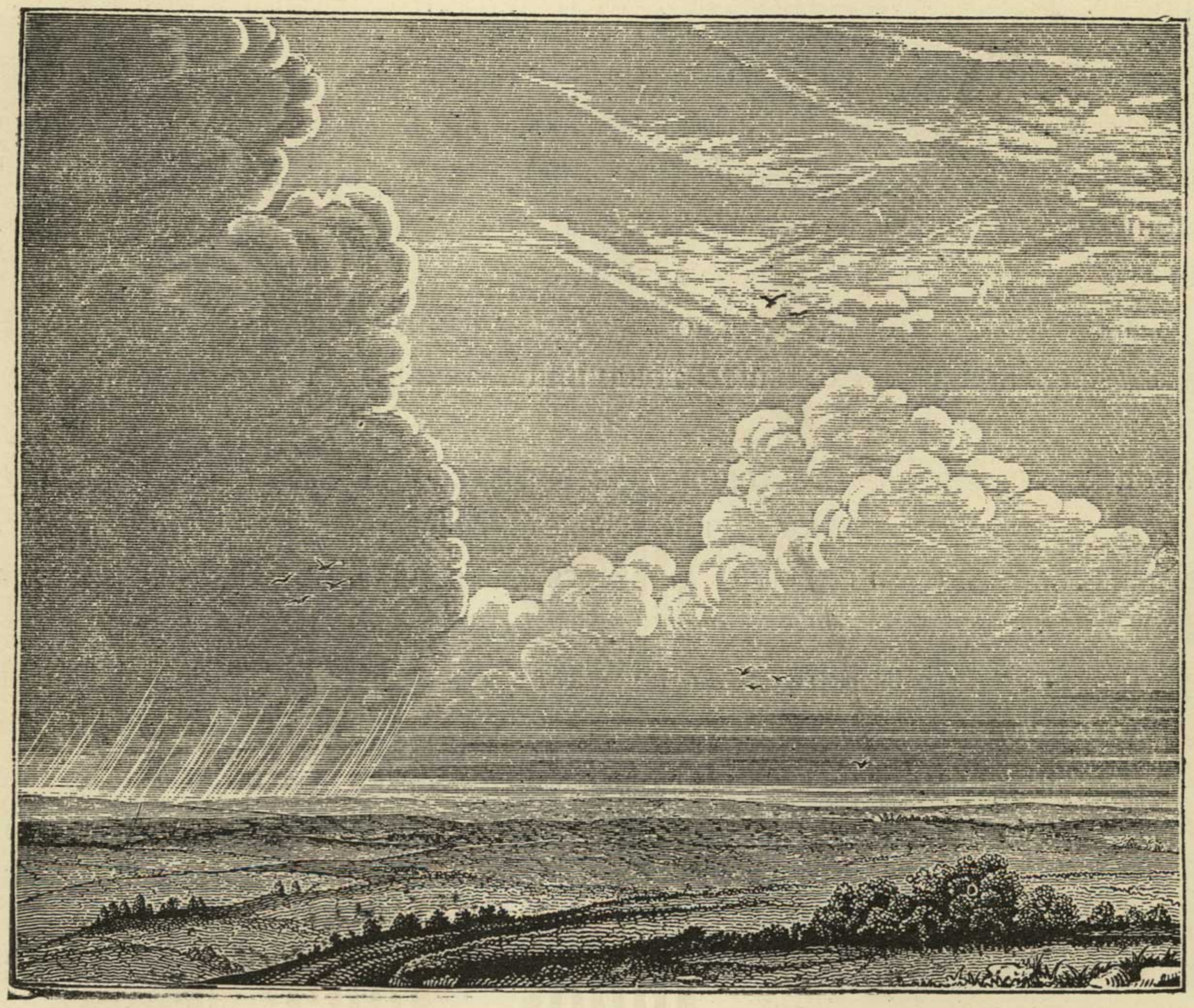
http://mathesis.ru

часто идутъ по совершенно опредѣленному пути, а именно надъ болотистыми и обильными влагой мѣстностями.

450. Помимо той важной роли, какую играетъ связываніе и освобожденіе тепла водяныхъ паровъ въ качествѣ движущей силы въ воздушномъ океанѣ, водяной паръ и его конденсація являются наиболѣе важнымъ факторомъ состоянія погоды и вида неба.

Безконечно разнообразныя формы облаковъ пытались привести въ систему. Англійскій метеорологъ Люкъ Говардъ (1772—1864) ввелъ обозначеніе, которое въ существенныхъ чертахъ остается во всеобщемъ употребленіи и теперь.

Рис. 377



Главныя формы облаковъ.

Главными формами являются перистое облако (cirrus), кучевое (cumulus), слоистое (stratus) и дождевое (nimbus), рис. 377. Кромѣ этихъ главныхъ формъ есть много видоизмѣненій и переходовъ между ними.

451. Прежде считали удивительнымъ, что несмотря на свой тяжеловѣсный видъ облака могутъ висѣть въ воздухѣ, не опускаясь. Особенно тяжелыя формы имѣютъ кучевыя облака, непрозрачныя и отбрасывающія густыя тѣни. Эти облака, плоскія внизу и имѣющія куполообразныя формы въ верхней части, плаваютъ въ голубомъ небѣ, не обнаруживая ни малѣйшаго движенія по направленію къ землѣ.

Раньше думали, что для объясненія этого явленія необходимо допустить, что плавающія въ воздухѣ частицы воды не сплошныя капли, а маленькіе пузырьки, которые опускаются только очень медленно, какъ мыльные пузыри. Но не говоря уже о томъ, что такіе маленькіе пузырьки не могли бы существовать въ силу того огромнаго давленія, которое дѣйствовало бы на ихъ поверхности по направленію внутрь,

http://mathesis.ru

допущеніе ихъ существованія совершенно излишне, такъ какъ можно представить себѣ столь малыя капли, что сопротивленіе, которое оказываетъ ихъ паденію воздухъ, уже и при самыхъ незначительныхъ скоростяхъ можетъ равняться ихъ тяжести. Такимъ образомъ, если существуетъ еще восходящее теченіе такой же скорости, то капли вовсе не падаютъ. Въ самомъ дѣлѣ, если вообразить себѣ, что капли дѣлаются все меньше и меньше, то ихъ поверхность, а съ нею и сопротивленіе воздуха, уменьшается пропорціонально только квадрату діаметра, вѣсъ же капли уменьшается пропорціонально кубу діаметра. Такимъ образомъ, допустивъ достаточно малую величину капель, можно получить и сколь угодно малое значеніе для скорости ихъ паденія.

При образованіи кучевыхъ облаковъ имѣетъ мѣсто медленное восходящее теченіе, которое именно и является причиною образованія облака. Въ самомъ дѣлѣ, передъ полднемъ нагрѣтый воздухъ начинаетъ подыматься въ различныхъ мѣстахъ. На извѣстной высотѣ начинается конденсація (§ 443) и здѣсь-то и получается нижняя горизонтальная граница кучевого облака.

Причина того, что такое облако производитъ впечатлѣніе массивнаго, лежитъ именно въ незначительности капель. Нерѣдко въ горлышкѣ только откупоренной бутылки пива можно замѣтить такой густой туманъ, что нельзя даже видѣть поверхности жидкости. Этотъ туманъ образуется, когда воздухъ подъ пробкой сильно сжатъ, вслѣдствіе его расширенія и связаннаго съ этимъ охлажденія. Совершенно такъ же, какъ и этотъ туманъ, кучевое облако состоитъ изъ массы безчисленныхъ капелекъ, сквозь которую лучъ свѣта не можетъ пройти по прямой линіи, тогда какъ масса дождевыхъ капель не представляетъ для него замѣтнаго препятствія.

Если массы облаковъ плаваютъ очень высоко, то мелкія капельки успѣваютъ соединиться въ большія. Такія капли падаютъ быстрѣе, соединяются съ другими и увеличиваются до извѣстнаго предѣла. Этотъ предѣлъ не можетъ быть значительно превзойденъ, такъ какъ затѣмъ капля подъ вліяніемъ сопротивленія воздуха разбивается на болѣе мелкія капельки.

Другою причиной, по которой водяныя частички облаковъ считали пузырьками, было то обстоятельство, что въ кучевомъ облакѣ вообще не бываетъ видно радуги, хотя бы солнце и глазъ занимали надлежащее положеніе. Въ настоящее время допускаютъ, что водяныя капельки могутъ быть настолько малы, что не дѣйствуютъ на свѣтовые лучи такъ, какъ это необходимо для образованія радуги (ср. I, § 387). Свѣтовые лучи могутъ такъ интерферировать другъ съ другомъ, что они будутъ выходить изъ капель не такъ, какъ это требуется для возникновенія радуги.

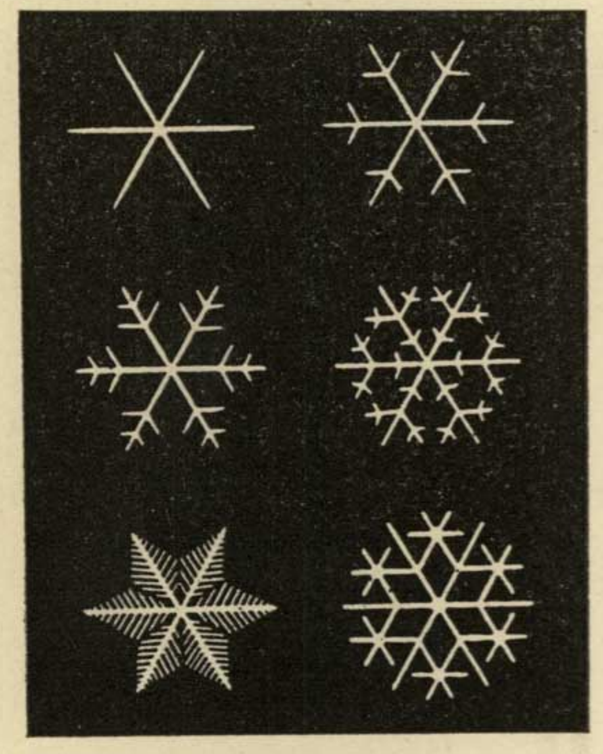
452. При смѣшеніи воздушныхъ массъ различной температуры, насыщенныхъ водянымъ паромъ, получается пересыщенная смѣсь. Количество водяного пара, содержащееся, напримѣръ, въ кубическомъ метрѣ воздуха при 0^0 и въ кубическомъ метрѣ воздуха при 20^0 будетъ $4{\cdot}6 + 17{\cdot}4 = 22$ *г* (ср. таблицу стр. 403) и оно не можетъ содержаться въ двухъ кубическихъ метрахъ воздуха съ температурой 10^0, такъ какъ это количество воздуха можетъ содержать только $2 \times 9{\cdot}2 = 18{\cdot}4$ *г* водяного пара. Такимъ образомъ, при смѣшеніи должна произойти конденсація водяного пара. Такого рода смѣшеніе происходитъ въ природѣ часто, напримѣръ, когда воздухъ вокругъ плавающаго айсберга смѣшивается съ морскимъ или когда теплый влажный воздухъ надъ болотистой страной послѣ жаркаго лѣтняго дня смѣшивается съ холоднымъ ночнымъ воздухомъ. Безъ сомнѣнія, подобнымъ же образомъ часто возника-

http://mathesis.ru

ютъ и облака, когда приходятъ въ соприкосновеніе и смѣшиваются воздушныя массы различныхъ температуръ.

453. Однако, объяснить выпаденіе дождя исключительно этимъ способомъ образованія облаковъ едвали возможно. Даже еслибы смѣшеніе воздушныхъ массъ различной температуры было совершеннымъ, чего, конечно, въ большинствѣ случаевъ не бываетъ, и еслибы оно, кромѣ того, происходило на достаточной высотѣ, то выдѣленное количество воды могло бы составить только незначительную часть всего количества дождя, какое выпадаетъ, напримѣръ, во время грозы. Напротивъ, конденсація, которая происходитъ, когда вверхъ подымается въ извѣстной мѣрѣ насыщенное теченіе воздуха, вполнѣ достаточна для объясненія количества выпавшаго дождя, тѣмъ болѣе, что при этомъ вверхъ подымаются постоянно новыя массы воздуха, отдающія при поднятіи свой водяной паръ въ формѣ капель дождя.

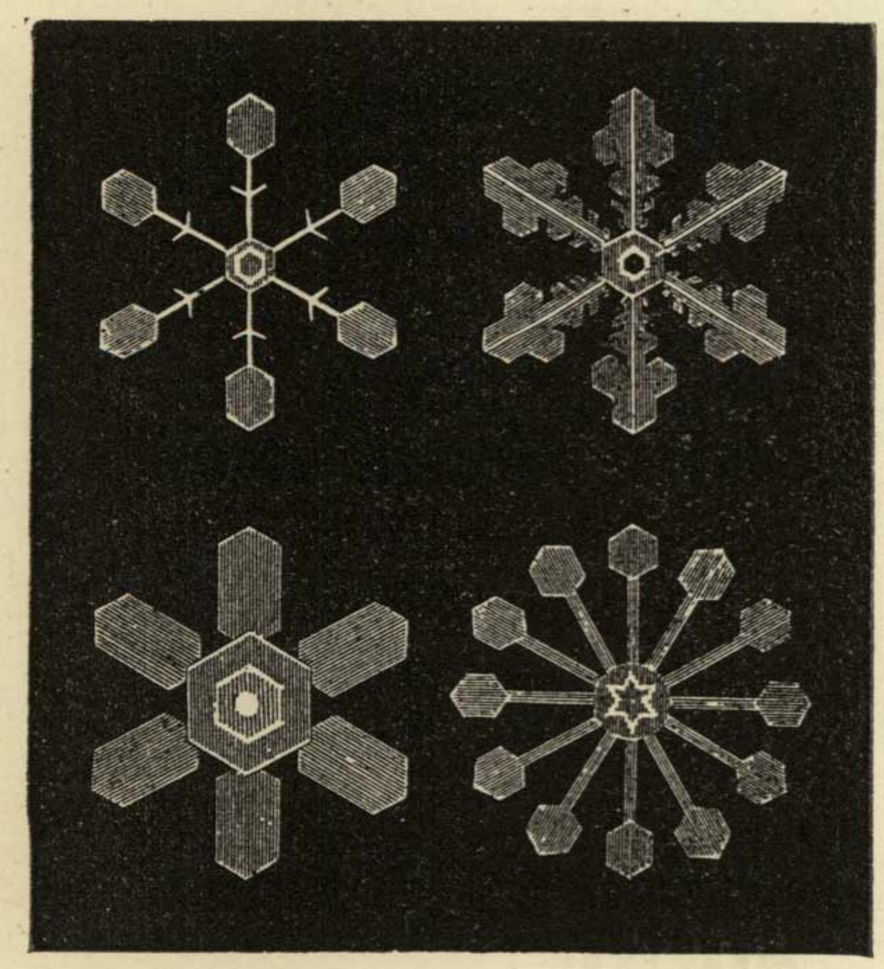
Рис. 378



Снѣжные кристаллы.

454. Если въ томъ мѣстѣ, гдѣ происходитъ конденсація, температура воздуха лежитъ ниже точки замерзанія, то образуются, конечно, не капли, а ледяные кристаллики, которые при дальнѣйшей конденсаціи становятся больше и пріобрѣтаютъ развѣтвленныя формы. Эти сложные кристаллы вообще имѣютъ форму шестиугольной звѣзды. Разнообразіе ихъ формъ обусловливается вѣроятно различіемъ температуры, давленія, силы вѣтра и т. д.

Рис. 379



Снѣжные кристаллы.

Когда эти кристаллики сталкиваются, ихъ правильная форма нарушается и, попадая во время паденія въ болѣе теплые слои воздуха, они собираются въ болѣе замѣтные хлопья снѣга.

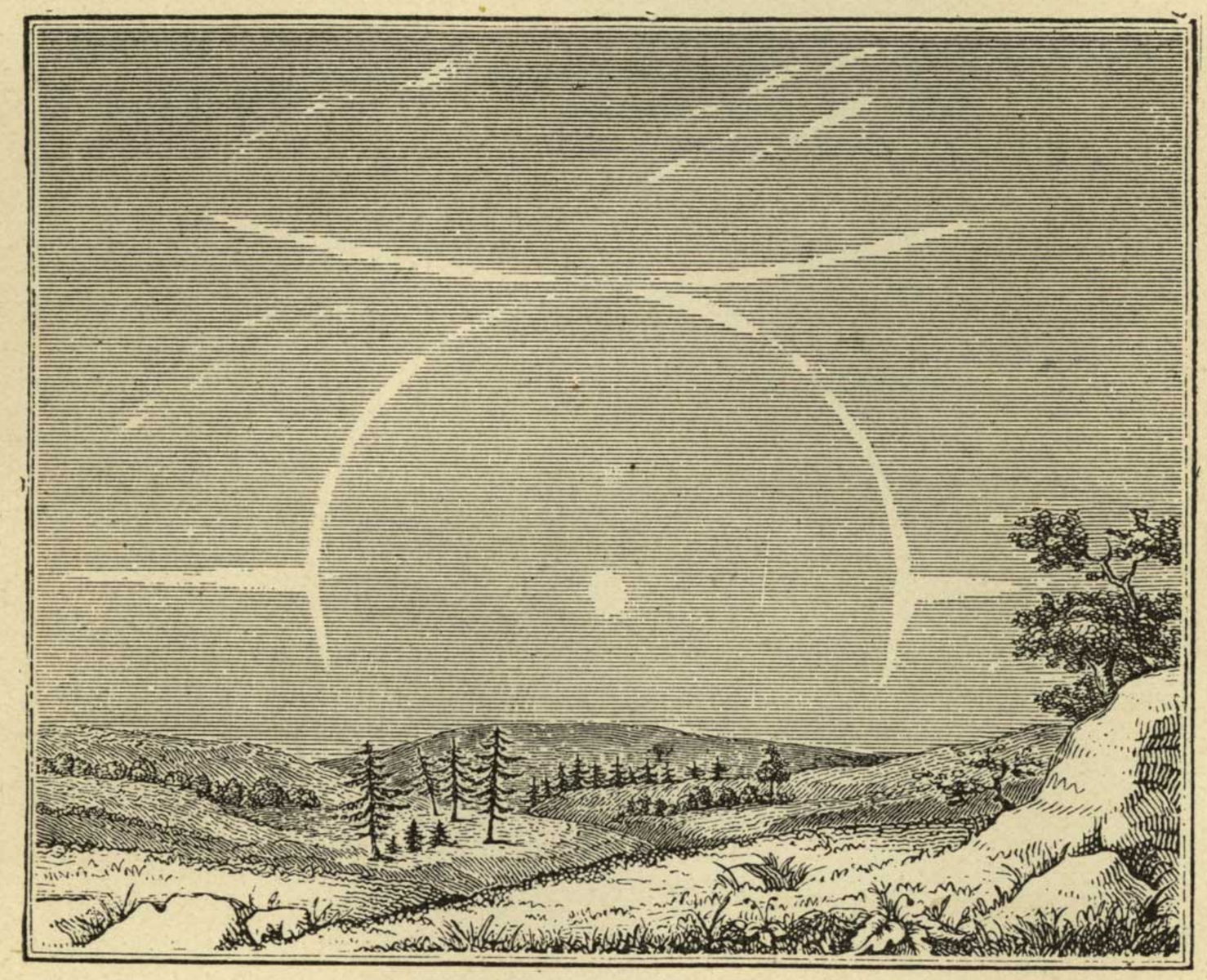
455. Такъ называемыя ложныя солнца и круги около солнца и около луны обусловливаются присутствіемъ въ верхнихъ слояхъ воздуха ледяныхъ кристалликовъ. Ихъ не слѣдуетъ смѣшивать съ интерференціонными кольцами, производимыми легкими облаками, сквозь которыя бываетъ видимо солнце или луна, и имѣющими поперечникъ отъ 2^0 до 6^0.

Большіе круги около солнца или луны имѣютъ въ поперечникѣ 22^0. Другое кольцо, которое наблюдается рѣже, имѣетъ приблизительно вдвое бо́льшій діаметръ. Первый уголъ есть тотъ уголъ, на который отклоняется свѣтовой лучъ, проходя сквозь ледяную призму такъ, что преломляющій уголъ равенъ 60^0, а послѣдній—тотъ уголъ, на который отклоняется лучъ свѣта, когда преломляющій уголъ равенъ 90^0. Если воздухъ наполненъ ледяными кристалликами, занимающими всевозможныя положенія, то тѣ изъ нихъ, которые находятся въ надлежащемъ положеніи относительно лучей

солнца и глаза, посылаютъ глазу свѣтъ. Такъ какъ красные лучи отклоняются меньше всѣхъ, то въ обоихъ упомянутыхъ кольцахъ внутренній край красный, а внѣшній фіолетовый.

Такъ какъ кристаллы снѣга имѣютъ различныя формы и при паденіи могутъ принимать опредѣленное положеніе, то иногда, кромѣ двухъ главныхъ колецъ, замѣчаются и другія кольцеобразныя и прямолинейныя полосы свѣта, обусловленныя

Рис. 380



Круги около солнца.

отраженіемъ свѣта отъ граней ледяныхъ кристалликовъ. Тамъ, гдѣ пересѣкаются различныя свѣтлыя полосы, замѣчается и наибольшій блескъ. Въ этихъ мѣстахъ образуются такъ называемыя ложныя солнца, чаще всего именно тамъ, гдѣ внутреннее кольцо пересѣкается горизонтальной полосой.

Это явленіе не представляетъ рѣдкости, но часто его не замѣчаютъ, такъ какъ небо въ этомъ мѣстѣ сильно освѣщено и глазъ ослѣпленъ этимъ свѣтомъ. Для того чтобы видѣть его, нужно прикрыть рукою то мѣсто неба, гдѣ находится солнце. Это явленіе часто представляетъ первый признакъ приближенія грозы или вихря. Конденсація водяного пара, которая начинается въ верхнихъ слояхъ воздуха, распространяется и на нижніе, небо дѣлается все болѣе бѣлымъ, затѣмъ сѣрымъ и наконецъ начинается дождь.

http://mathesis.ru

http://mathesis.ru

Приложеніе

нѣмецкаго переводчика Г. Зиберта

Радіоактивность

Открытія Крукса, Ленарда и Рёнтгена вызвали на свѣтъ массу изслѣдованій, имѣвшихъ цѣлью прежде всего разъясненіе природы открытыхъ Рёнтгеномъ *X*-лучей. Но затѣмъ они повели къ поразительнымъ открытіямъ, давшимъ намъ цѣлую новую область физики, область радіоактивности.

Въ 1896 году Анри Беккерель въ Парижѣ сдѣлалъ открытіе, что нѣкоторыя вещества обладаютъ свойствомъ испускать своеобразные лучи безпрерывно и безъ всякаго внѣшняго вліянія. Беккерель изслѣдовалъ различныя флуоресцирующія вещества для провѣрки предположенія, что флуоресценція стекла въ Круксовой трубкѣ подъ вліяніемъ ударовъ катодныхъ лучей является причиной *X*-лучей. Для этой цѣли онъ заставлялъ дѣйствовать флуоресцирующія соединенія урана на фотографическую пластинку, обернутую въ непроницаемую для свѣта бумагу; чтобы получить флуоресценцію, онъ выставлялъ взятое соединеніе урана подъ дѣйствіе солнечнаго свѣта и ожидаемое дѣйствіе дѣйствительно получалось. Но при дальнѣйшихъ опытахъ сейчасъ же обнаружилось, что такой же эффектъ получается и въ темнотѣ, даже если пользоваться соединеніями урана, которыя приготовлялись и сохранялись въ темнотѣ. Оказалось далѣе, что такой же эффектъ можно получить и съ нефлуоресцирующими соединеніями урана. Такимъ образомъ, здѣсь проявлялось какое-то совершенно новое свойство урана, не имѣвшее ничего общаго съ флуоресценціей. Это свойство теперь обозначаютъ именемъ радіоактивности. Лучи, испускаемые соединеніями урана, оказываются во многомъ сходными съ *X*-лучами. Это открытіе, конечно, наводило на вопросъ, нѣтъ ли кромѣ урана еще и другихъ „радіоактивныхъ“ элементовъ. Подробное изслѣдованіе, которому госпожа Кюри [1]) подвергла всѣ извѣстные элементы, привело къ заключенію, что между этими элементами еще только одинъ торій обладаетъ свойствомъ радіоактивности. Главныя свойства, которыми отличаются невидимые лучи, исходящіе изъ радіоактивныхъ элементовъ, состоятъ въ томъ, что они дѣйствуютъ на фотографическую пластинку и іонизуютъ воздухъ и другіе газы, сквозь которые они проходятъ, т. е. обращаютъ эти газы временно въ проводники электричества.

Что касается природы различнаго рода лучей, то обширныя изслѣдованія, въ подробности которыхъ здѣсь нѣтъ возможности входить, привели къ слѣдующимъ результатамъ. Катодные лучи производятся не колебаніями эѳира, какъ свѣтовые, а

---

[1]) S. Curie, Recherches sur les substances radio-actives, Paris 1903 (есть русскій переводъ).

http://mathesis.ru

вещественны по своей природѣ, т. е. производятся тѣмъ, что изъ катода выбрасываются частицы, которыя меньше наименьшихъ извѣстныхъ атомовъ и которыя можно назвать атомами отрицательнаго электричества (отрицательными іонами). Удалось также опредѣлить скорость и массу этихъ частицъ. Первая равна десятой части скорости свѣта, а послѣдняя въ семьсотъ разъ меньше массы атома водорода. *X*-лучи, какъ и свѣтъ, суть волны въ эѳирѣ. Разница между ними состоитъ, вѣроятно, въ томъ, что *X*-лучи имѣютъ характеръ толчковъ, тогда какъ обыкновенный свѣтовой лучъ состоитъ изъ правильно слѣдующихъ другъ за другомъ одинаковыхъ колебаній. Что же касается лучей, испускаемыхъ радіоактивными веществами, то они распадаются на три различныхъ рода, обозначаемыхъ названіями α, β и γ-лучей.

Лучи α обладаютъ способностью проникать въ тѣла въ небольшой степени. Ихъ задерживаетъ листокъ бумаги или слой воздуха отъ 2 до 3 *см* толщиною. Они отклоняются магнитомъ, но въ меньшей степени, чѣмъ β-лучи, и въ противоположную сторону сравнительно съ послѣдними и съ катодными лучами. Частицы, изъ которыхъ они состоятъ, имѣютъ массу, приблизительно равную массѣ водороднаго атома, и выбрасываются радіоактивными веществами съ громадной скоростью 30000 *км* въ секунду. Лучи β принадлежатъ къ тому же типу, какъ и катодные, но обладаютъ меньшей скоростью и бо́льшей проницающей способностью, чѣмъ послѣдніе. Они отклоняются магнитомъ одинаково съ катодными лучами и, подобно *X*-лучамъ, проходятъ сквозь тонкій металлическій листикъ и сквозь стекло, но задерживаются металлической пластинкой, имѣющей толщину обыкновенной монеты. Изъ всѣхъ трехъ родовъ лучей они обладаютъ наибольшей фотографической силой. Лучи γ, наконецъ, обладаютъ проницающей способностью въ наибольшей степени. Они проходятъ сквозь столбикъ изъ 12 монетъ, не поглощаясь еще вполнѣ. Магнитъ на нихъ не дѣйствуетъ и они находятся въ такомъ же отношеніи къ β-лучамъ, въ какомъ *X*-лучи находятся къ катоднымъ.

Между многочисленными изслѣдованіями въ области радіоактивности нужно особенно отмѣтить тѣ, которыя повели къ открытію радія и къ выясненію его химической природы. Г-жа Кюри замѣтила, что многіе минералы, содержащіе уранъ и торій, а особенно смоляная урановая руда, обладаютъ гораздо большей активностью, чѣмъ самъ уранъ и чистыя урановыя соединенія. Такъ, смоляная руда изъ Іоганнгеоргенштадта, содержащая около 70 % урана, почти вчетверо активнѣе, нежели самое активное соединеніе урана. Эти наблюденія заставили предполагать, что радіоактивность вызывается неизвѣстнымъ еще элементомъ. Надо было выдѣлить этотъ элементъ. Для этой цѣли супруги Кюри подвергли смоляную руду основательному химическому анализу и имъ удалось получить чистый хлористый радій, который послужилъ для опредѣленія атомнаго вѣса и изученія спектра радія. Первое сдѣлала г-жа Кюри, послѣднее Демарсэ. Для полученія хлористаго радія въ нужномъ при такихъ изслѣдованіяхъ количествѣ пришлось переработать огромныя количества смоляной руды, такъ какъ изъ одной тонны этого матеріала получается только нѣсколько десятыхъ долей грамма хлористаго радія. Для атомнаго вѣса радія г-жа Кюри нашла величину 225. Такимъ образомъ послѣ торія (232) и урана (238) радій имѣетъ наибольшій атомный вѣсъ изъ всѣхъ извѣстныхъ элементовъ. По своимъ химическимъ свойствамъ и особенно по строенію своего спектра радій принадлежитъ къ группѣ земельно-щелочныхъ металловъ.

http://mathesis.ru

Обладая цѣлымъ рядомъ свойствъ, дающихъ ему, такъ сказать, особое мѣсто въ періодической системѣ элементовъ, радій имѣетъ еще и другія свойства, дѣлающія его однимъ изъ самыхъ удивительныхъ веществъ, какія только извѣстны. Излученіе радія очень сильно, даже когда количество этого вещества составляетъ всего нѣсколько миллиграммовъ. Его α-лучи мгновенно разряжаютъ электроскопъ и возбуждаютъ сильное мерцаніе, когда падаютъ на экранъ сѣрнистаго цинка (спинтарископъ Крукса). Эти лучи являются главной причиной выдѣляемаго радіемъ тепла. Съ одной стороны они обладаютъ огромной кинетической энергіей, а съ другой, незначительной способностью прониканія, такъ что бо́льшая часть ихъ поглощается твердыми соединеніями радія, вслѣдствіе чего ихъ энергія превращается въ теплоту. Температура соединенія радія всегда превышаетъ на нѣсколько градусовъ температуру среды, а выдѣляемаго въ теченіе часа количества тепла хватило бы на то, чтобы нагрѣть такое же количество воды отъ точки замерзанія до точки кипѣнія. Лучи β пронизываютъ металлическія пластинки, имѣющія толщину визитной карточки, сильно дѣйствуютъ на фотографическую пластинку и заставляютъ флуоресцировать платиновосинеродистый барій. Они уносятъ отрицательный зарядъ, вслѣдствіе чего радій заряжается положительно. Было замѣчено, что запаянныя трубки, въ которыхъ сохранялись соединенія радія, постепенно заряжались такъ сильно, что, наконецъ, разрывались и этотъ взрывъ сопровождался электрической искрой. Лучи γ дѣйствуютъ на фотографическую пластинку, проходятъ сквозь пластинки металла въ нѣсколько сантиметровъ толщиной и заставляютъ флуоресцировать экранъ съ платиновосинеродистымъ баріемъ. Наконецъ, нужно отмѣтить между свойствами радія и то, что онъ постоянно выдѣляетъ радіоактивный газъ, такъ называемую эманацію радія. Эта эманація принадлежитъ къ весьма распространеннымъ веществамъ.

Смоляная руда содержитъ кромѣ радія еще два другихъ радіоактивныхъ элемента, полоній и актиній, свойства которыхъ, впрочемъ, еще мало изслѣдованы.

Одинъ изъ самыхъ интересныхъ фактовъ, открытыхъ въ области радіоактивности, представляетъ соотношеніе между радіемъ и геліемъ. Присутствіе радія въ минералахъ, содержащихъ уранъ и торій, а также и то обстоятельство, что газообразная эманація торія и радія при извѣстныхъ обстоятельствахъ накопляется въ видѣ соединеній, а не уходитъ, привели Рётгерфорда и Содди къ предположенію, что между радіемъ и геліемъ существуетъ извѣстное соотношеніе. И, дѣйствительно, Рамзэю и Содди (1903) удалось установить, что эманація радія превращается въ гелій.

Для теоретическаго объясненія явленій радіоактивности упомянутые изслѣдователи предложили теорію распада атомовъ. По этой теоріи элементы, обладающіе свойствами радіоактивности, находятся въ состояніи развитія, благодаря которому они постоянно обращаются въ болѣе легкія и болѣе устойчивыя формы, лучи же, испускаемые этими элементами, производятся тѣмъ, что извѣстная часть атомовъ первоначальнаго вещества постоянно распадается.

Желающій подробнѣе ознакомиться съ явленіями радіоактивности и особенно съ тѣмъ, какъ были получены упомянутые результаты, долженъ обратиться къ спеціальнымъ работамъ по этому предмету[1]).

[1]) См. *Ветгэмъ*, Современное развитіе физики (Одесса, Матезисъ 1908) и особенно *Риги*, Современная теорія физическихъ явленій (Одесса, Матезисъ 1908).

http://mathesis.ru

http://mathesis.ru

Указатель II тома

Августъ, August 401.
Авиценна 302.
Авогадро, Amedeo Avogadro 317.
Альбертъ Магнусъ 303, 319.
Accademia del Cimento 12, 23, 29, 34, 35
Аккумуляторъ 366.
Аль Хацини 7.
Амонтонъ, Guillaume Amontons 30.
Амперъ, André Marie Ampère 337, 339, 341.
Анаксагоръ 294.
Анаксимандръ 293.
Анаксименъ 293.
Андрусъ, Th. Andrews 299.
Анемометръ 404.
Анероидъ 398.
Антемій 48.
Антинори, Antinori 13, 17.
Апіанъ, Peter Apian 190.
Араго 338, 342, 351.
Аристотель 46, 165, 219, 295.
Арреніусъ, Svante Arrhenius 328.

Базилій Валентинъ 304.
Байанъ, Pierre Bayen 311.
Байлакъ 167.
Байсъ-Балло, Buijs-Ballot 409.
Банка измѣрительная 254.
„ лейденская 232, 236.
Банксъ, Joseph Banks 283.
Барометръ 397.
Батарея электрическая 238.
Бауръ, K. Baur 145.
Бевисъ, Bevis 233.
Беккаріа, Giovanni Beccaria 246, Giacomo 264.
Беккерель, A. C. Becquerel 330.
Белль, Henry Bell 96, Graham 390.
Беннетъ, Abraham Bennet 253, 281.
Бернулли, Daniel Bernoulli 91, 97.
Бертло, Berthelot 67.
Бертолле, Berthollet 321.
Берцеліусъ, Jakob Berzelius 322, 324.
Бехеръ, Johann Joachim Becher 309.
Біо 132, 338.
Блакеттъ, Blackett 101.
Блэкъ, Joseph Black 39, 42, 43, 63
Бозе, Bose 229.
Бойль 17, 34, 35, 53, 68, 223, 307, 319.
Бонпланъ, Bonpland 207.
Борелли 12.
Борда, Borda 203.
Браге, Тихо 395.
Бранка, Giovanni Branca 49.
Бранли, Branly 388.
Бреге, Breguet 27.
Бриссо, Brissot 93.
Бугеръ 21, 128.
Бультонъ, Matthew Boulton 78.
Буоно, Candido e Paolo del Buono 13
Буравъ для добыванія огня 3.
Бэконъ Р. 303.
Бэконъ Ф. 108.

Вагнеръ, J. Ph. Wagner 343.
Валентность 318.
Валлисъ 189, 307.
Вальшъ, John Walsh 271.
Варли, Cromwell Varley 389.
Ватсонъ, William Watson 233, 270.
Ваттъ, James Watt 66, 68 и сл., 89.
Веберъ, Wilhelm Eduard Weber 206, 208, 338; Ernst Heinrich 206.
Вивесъ, Ludovico Vives 220.
Вівіани, Vincenzio Viviani 11, 13.
Вівіанъ, Vivian 100.
Вилеръ, Wheeler 225.
Вильде, Wilde 356.
Вильке, Johann Karl Wilcke 42, 189, 239.
Вильсонъ, Benjamin Wilson 247.
Вимсгёрстъ, Wimshurst 266.
Винклеръ, J. H. Winckler 229, 238, 267.
Витрувій 47.
Витстонъ 267, 383.
Влажность воздуха 400.
Воллъ, Wall 223, 242, 267.
Вольта, Alessandro Volta 264, 279, 290, 360.

http://maltesis.ru

Вольфъ X., Chr. Wolf 19, 62; P. 210.
Врублевскій 300.
Вьюэлль, W. Whewell 365.
Вѣсъ атомный 315; молекулярный 317.
Вѣсы крутильные 180, 255.

Гагеманнъ, Hagemann 404.
Гадлей, George Hadley 408.
Галенъ 302.
Галилей 8, 18, 33.
Галлей 62, 187, 408.
Гальвани, Luigi Galvani 275 и сл., 282.
Гальванопластика 329.
Гальваностегія 329.
Гамбергеръ, Georg E. Hamberger 62.
Ганстенъ, Christoffer Hansteen 191.
Гарай, Blasco de Garay 49.
Гаррисонъ, John Harrison 26.
Гартманъ, Georg Hartmann 171.
Гассенди 108.
Гассіотъ, Gassiot 332, 375.
Гаузенъ, Christian August Hausen 229.
Гауксби, Francis Hawksbee 223, 267.
Гауссъ 205, 208.
Геберъ, Geber 301.
Гёдсонъ, Hudson 174.
Гейсслеръ, Geissler 375.
Геллибрандъ, Henry Gellibrand 187, 198.
Гельмонтъ, Johann Baptist van Helmont 62' 305.
Генли, William Henley 232, 268.
Гёнтеръ, Edmund Gunter 187.
Гольтенъ, C. Holten 337.
Гольцъ, Holtz 265.
Гербертъ (Сильвестръ II), Gerbert 48.
Герике 9, 221, 267.
Гермесъ Трисмегистосъ 296.
Геронъ 6, 33, 46, 108.
Геру, Heroult 330.
Гершель Ф. 124, 130.
Герцъ, Heinrich Hertz 378.
Гигрометръ 401.
Гильбертъ, William Gilbert 173, 195, 213, 220.
Гирнъ, G A. Hirn 156.
Гитторфъ, Wilhelm Hittorf 328, 375.
Гіу-Чинъ 166.
Гмелинъ, Gmelin 323.
Говардъ, Luke Howard 418.
Готро, Nicolas Gautherot 288.
Готье, Gauthier 91.
Градъ 416.
Гралатъ, Daniel Gralath 232, 238, 267, 270.
Граммъ, Zénobe Gramme 359.
Гризингеръ, Wilhelm Griesinger 145.
Гровъ W. R., Grove 332.
Грозы 243, 417.
Громоотводъ 244, 248.
Гротгусъ, Grotthuss 321, 327.
Грэй, Stephan Gray 44, 224.
Грэмъ, George Graham 189.
Гукъ 28, 58, 397, 405.
Гулльсъ, Jonathan Hulls 90.
Гумбольдтъ, Alexander v. Humboldt 206 и сл.
Гьортеръ, Olaf Hjorter 190.
Гьортъ, Sören Hjorth 358.
Гэльсъ, Stephan Hales 310.
Гэ-Люссакъ, Gay-Lussac 31, 317.
Гюйгенсъ 18, 53, 397.
Гюльхеръ, Gülcher 345.

Давленіе пара 72, 83, 160
Далансе, Dalencé 18.
Далибаръ, D'Alibard 243.
Дальтонъ, John Dalton 70, 149, 314, 316.
Даніэлля элементъ 331.
Дезагюлье, Jean Desagulier 228.
Делабоэ, Sylvius de la Boë 307.
Деларивъ, De la Rive 371.
Делоръ, Delor 243.
Делюкъ 20, 29, 39,
Демокритъ 294, 319.
Дергемъ, Derhem 62.
Дестилляція см. Перегонка.
Джауль, James Prescott Joule 149 и сл., 155, 368.
Джойа, Flavio Gioja 169, 213.
Динамомашина 358.
Дитрихъ, Dietrich 185.
Діаграмма индикатора 88.
Діамагнитизмъ 343.
Діэлектрики 263.
Дождемѣръ 404.
Доска Франклинова 235.
Дреббель, Cornelius Drebbel 7.
Дубликаторъ 281.
Дьюоръ, Dewar 300.
Дэви, Humphrey Davy 110, 111, 135, 143, 322, 371.
Дюбуа-Реймонъ, Emil Du Bois-Reymond 271.
Дюгамель, Duhamel 183.
Дюлонгъ и Пти, Dulong et Petit 28.
Дюма, Dumas 352.
Дютеръ, Emile Duter 263.
Дюфэ, Charles François de Cisternay Dufay 227.

Емкость 260.

http://mathesis.ru

Жаменъ, Jamin 299.
Жолли 147.

Законъ Ома 348; Байсъ-Балло 409.
Замерзаніе воды 34.
Звонокъ электрическій 343.
Зеебекъ 125, 127, 344.
Зёммерингъ, Sömmering 382.
Зенонъ 48.
Золотникъ 80.
Зосима 296.

Ивансъ, Oliver Evans 100.
Измѣреніе сопротивленій 347.
Изобары 407.
Изогоны 195.
Изодинамы 204.
Изоклины 201.
Изотермы 407.
Ингенгусъ, Jan Ingenhuss 131.
Индикаторъ 87.
Индукторъ искровой 373; цилиндрическій 356.
Индукція вольтаическая 354; магнитная 353.
Искра электрическая 268.

Іёргенсенъ, Urban Jörgensen 27.
Йэтсъ, S. Yates 389.

Кабель телеграфный 387.
Кабото Дж. и Себ., Caboto 171.
Кавалло 252.
Калій 322.
Калориметръ 43.
Кальете, L. Cailletet 299.
Камень магнитный 165; философскій 302.
Кантонъ, John Canton 231, 239.
Карлейль, Anthony Carlisle 286, 320.
Карно, Sadi Carnot 139, 153.
Карре, E. Carré 66.
Кассини Д. 14.
Кастелли, Castelli 8.
Катетометръ 44.
Катушка Румкорфа 373.
Каули, Cawley 58.
Кельвинъ, Lord Kelvin (William Thomson) 37, 213.
Кеплеръ 167.
Кинмайеръ, Franz von Kienmayer 231.
Киннерсли, Ebenezer Kinnersley 269.
Киннуйль, Earl of Kinnouil 116.
Кипѣніе 65.
Кирванъ, Richard Kirwan 183.
Кирхеръ 31.
Кислородъ 311.
Кламонъ, Clamond 345.
Клапанъ предохранительный 54.
Клапейронъ, Clapeyron 141.
Кларкъ 356.
Клаузіусъ, Rudolf Clausius 155, 157, 160 328.
Клейстъ, E. G. v. Kleist 232.
Ко, Salomon de Caus 49, 62.
Когэреръ 388.
Колесо маховое 80.
Колумбъ 170.
Коллинсонъ, Peter Collinson 235.
Кольдингъ, Ludvig August Colding 147, 152.
Компасъ судовой 213.
Конденсаторъ 77, 280.
Кондукторъ 228.
Котелъ паровой (Папиновъ) 53; трубчатый 103.
Коффинъ, Koffin 409.
Кратценштейнъ 62, 270.
Круксъ, William Crookes 375.
Кукъ, Cook 383.
Кулленъ, Cullen 39, 66.
Кулонъ, Charles Augustin Coulomb 180, 255.
Кунэусъ, Cunaeus 232.
Куперъ, Cooper 332.
Кэвендишъ 256, 260, 310.
Кюньо, Cugnot 99.

Лавуазье, Lavoisier 24, 312.
Ладдъ, Ladd 358.
Лакуръ, Paul la Cour 389.
Ламбертъ, Johann Heinrich Lambert 114, 128 131.
Ламонтъ, Johann Lamont 210.
Лампа безопасная 136; дуговая 371; накаливанія 369.
Ландріани, Landriani 287.
Лапласъ 24.
Левкиппъ 294.
Ледники 38.
Лекланше 332.
Лемери, N. Lemery 309.
Лемонье, Le Monnier 234.
Ленардъ, Ph. Lenard 378.
Ленцъ 355, 368.
Леруа, Charles le Roy 62.
Лесли, John Leslie 116, 128.
Либау, Andreas Libau (Libavius) 305.
Либри, Guglielmo Libri 17.
Ливингстонъ, Robert Livingstone 95.
Линіи силовыя 260, 339.
Литцендорфъ, Litzendorf 229.
Лодка весельная паровая 93.
Локателли, Locatelli 126.

http://mathesis.ru

Локомотивъ 104.
Лонгомонтанъ 396.
Лорети, Heinrich Loreti 171.
Лукрецій 165.
Лучи катодные 376; Рёнтгеновскіе 379.
Лэнъ, Timothy Lane 254.

Магалотти, Lorenzo Magalotti 14, 52.
Магіусъ, Magius 404.
Магнитизмъ 165; вращенія 352; земли 171, 173, 187, 195, 209; судовой 214.
Магнитъ подковообразный 185.
Магнусъ, Olaus Magnus 171.
Магнюсъ, Magnus 135.
Майеръ Р., Robert Mayer 143, 152; Т., Tobias 191.
Майовъ, John Mayow 307.
Максвелль, James Clerk Maxwell 366, 378.
Максимумъ и минимумъ-термометръ 22.
Маріоттъ 114.
Маркони, G. Marconi 388.
Марсили, Alessandro Marsili 13.
Матіасъ, Mathias 299.
Машина водоподъемная 50, 56; высокаго давленія 60, 84; Грамма 359; для приготовленія льда 67; магнитоэлектрическая 355; низкаго давленія 83; паровая 51, 56, 58, 78, 80; солнечная 98; электрическая 221, 229 и сл., 251; электрофорная 265.
Маятникъ рѣшетчатый 26; электрическій 227.
Медичи, Леопольдъ 11.
Меллони, Macedonio Melloni 118, 121, 130.
Мельничка электрическая 242.
Микрофонъ 392.
Минимумъ барометрическій 409, 417.
Молейнсъ, Moleyns 369.
Молоточекъ Вагнеровскій 343.
Монъ, Mohn 417.
Морзъ, Samuel Morse 384.
Моріани, Moriani 16.
Мостикъ Витстоновъ 347.
Мультипликаторъ 338.
Мунке, Muncke 337.
Муссонъ, Mousson 37.
Муссонъ 408.
Мусхенбрукъ, Pieter Musschenbroek 232.

Наклоненіе магнитной стрѣлки 172, 201.
Насосъ паровой 56, 58.
Натрій 323.
Наттереръ, Natterer 298.
Нёрремберга, Nörremberg 147.
Никольсонъ 286, 320.
Нобили, Leopoldo Nobili 122, 337.
Нолле 229, 233, 252, 270.
Норманъ, Robert Norman 171, 187.
Ноэ, Noë 345.
Ньюкоменъ, Newkomen 58.

Облака 418.
Объемъ пара 49.
Олива, Antonio Oliva 14.
Олимпіадоръ 296.
Ольшевскій 300.
Омъ, Georg Simon Ohm 345.
Оррери, Lord Orrery 190
Оствальдъ, Wilhelm Ostwald 328.
Остроконечій дѣйствіе 241.
Осцилляторъ 388.
Отопленіе водяное 33.

Папенъ, Denis Papin 53, 60, 63.
Парацельзъ, Paracelsus 304.
Пароходъ 90.
Паръ 45, 62, 63.
Пассаты 408.
Паульсенъ, Adam Poulsen 197.
Пачинотти, Luigi Pacinotti 358.
Перегонка 297, сухая 300.
Передвиженіе іоновъ 327.
Переохлажденіе 37.
Печь электрическая 330.
Пикаръ 223.
Пиксіи, Pixii 355.
Пикте М., M. A. Pictet 114; Р., Raoul 299.
Пиргеліометръ 128.
Плавленіе 34.
Планте, Gaston Planté 366.
Платонъ 165.
Плиній 166.
Повозка паровая 99, магнитная 167.
Поггендорффъ, J. C. Poggendorff 337.
Поглощеніе теплоты 119.
Подушки натирающія въ электрической машинѣ 229.
Порта 7, 35, 49, 113, 175.
Потенціалъ 258.
Поттеръ, Humphrey Potter 59.
Прево, Pierre Prevost 115.
Превращеніе металловъ 296.
Пристлей, Joseph Pristley 310.
Провенъ, Guyot de Provins 169.
Проводники дурные и хорошіе 226.
Процессъ круговой 139.
Пулье, Claude Pouillet 128, 327, 338.

Развѣтвленіе тока 350.

http://mathesis.ru

Разложеніе воды 287, 320.
Разрядникъ 234, 268.
Рамсденъ, Jesse Ramsden 231.
Распредѣленіе магнитизма 185.
Расширеніе 86; воды 29; воздуха 7, 31; жидкостей 25; линейное 25; ртути 28; твердыхъ тѣлъ 23.
Реди, Francesco Redi 14.
Рей, Jean Rey 11.
Реймарусъ, Johann Reimarus 246.
Рейсъ, Philipp Reís 389.
Рёмзи, Rumsey 93.
Ренальдини, Carlo Renaldini 13, 18.
Рёнтгенъ, W. K. Röntgen 379.
Реньо 45, 73.
Реомюръ, René de Réaumur 19.
Рётгерфордъ, Daniel Rutherford 22.
Риги, Righi 388.
Риттеръ, J. W. Ritter 287.
Риссъ, P. Riess 269.
Рихманнъ 131, 244.
Ричи, William Ritchie 119.
Робёкъ, Roebuck 78.
Розе, G. Rose 207.
Россъ, John Ross 197.
Royal Society 308.
Румкорфъ, Ruhmkorff 373.
Румфордъ 29, 108, 116, 153.
Рунгъ, Rung 404.

Саваръ, Savart 338.
Саймингтонъ, William Symington 92, 94.
Санкторіусъ 8.
Сегенъ, Marc Séguin 103.
Сжиженіе газовъ 298.
Сиксъ, Six 23.
Сила задерживательная 183; электродвижущая 286, 291.
Симмеръ, Robert Symmer 179, 240.
Сименсъ, Werner von Siemens 347, 357.
Синезій 296.
Склоненіе магнитной стрѣлки 170 и сл., 195.
Смерчъ 416.
Смѣси охладительныя 35.
Снѣгъ 420.
Соленоидъ 341.
Солнца ложныя 420.
Сомерсетъ, Edward Somerset, Marquis of Worcester 50.
Соссюръ, H. B. Saussure 401.
Спектръ тепловой 124.
Спенсеръ 329.
Стаканный приборъ 284.
Стангопъ, Lord Stanhope 246.
Станокъ Амперовъ 341.
Старръ, Starr 369.
Стенсенъ, Nils Stensen 14.
Стёрджонъ, W. Sturgeon 332, 342.
Стефанъ, Joseph Stefan 135.
Стефенсонъ Дж., George Stephenson 101 и сл., 136; Роб. 107.
Столбикъ термоэлектрическій 122; Ноэ 345.
Столбъ Вольтовъ 283; зарядный 288.
Стрёмерсъ, Martin Strömers 21.
Стрѣлка направляющая 166.
Сэвери, Thomas Savery 56.

Тангенсъ-гальванометръ 338.
Телеграфія 381 и сл.
Телеграфъ пишущій 385; со стрѣлкой 383 съ циферблатомъ 384.
Телефонъ 389.
Температура критическая 299.
Теорія атомная 314; механическая теплоты 144, 157.
Теофрастъ 219.
Теплоёмкость 42.
Теплопроводность 130; газовъ 135; жидкостей 133; металловъ 133.
Теплота лучистая 113; плавленія 40; скрытая 41; пара 64.
Термометръ 7, 16, 399; воздушный 8, 21; дифференціальный 117; металлическій 27; электрическій 269.
Термомультипликаторъ 122.
Термоскопъ 30.
Термоэлектричество 344.
Тилорье, Thilorier 298.
Тиндалль 39, 127.
Томасъ Аквинскій 303.
Томпіонъ, Tompion 189.
Томпсонъ Б., см. Румфордъ.
Томсонъ В., см. Кельвинъ.
Томсонъ Дж., James Thomson 37.
Точка плавленія и давленіе 37.
Траллесъ, J. G. Tralles29.
Тревитгикъ, Trevithick 100.
Трубки Гейсслера 375.
Трубка паровая 49.

Ударъ возвратный 246.

Фарадэй 110, 112, 257, 260, 261, 298, 325, 343, 351, 364, 374.
Фаренгейтъ 19, 36, 42.
Феддерсенъ, B. W. Feddersen 268.
Фердинандъ II. 11, 31.
Фине, Finée 171.

http://mathesis.ru

Фичъ, John Fitch 93.
Флемлёзе, Peder Jakobsen Flemlöse 395.
Флогистонъ 309.
Фонотелеграфъ 389.
Форстеръ, Samuel Forster 308.
Форхгаммеръ, Forchhammer 363.
Форъ, Camille Faure 367.
Франклинъ, Benjamin Franklin 131, 234, 238, 241 и сл., 250, 269.
Френель 130.
Фуко 371.
Фультонъ, Robert Fulton 93.
Фуркруа, Fourcroy 321.
Фьордъ, Fjord 137.

Холодъ при испареніи 66.
Христіансенъ, C. Christiansen 133.
Хронометръ 28.

Цельзій, Anders Celsius 20, 190.
Циглеръ, J. H. Ziegler 70.

Чезаріано, Cesare Cesariano 47.

Шаппъ, Claude Chappe 381.
Швейггеръ, J. S. C. Schweigger 337.
Шееле, Karl Wilhelm Scheele 113, 312.
Шеллингъ, Schelling 333, 363.
Шёнбейнъ, Schönbein 269.
Шиллингъ-Канштаттъ 383.
Шоттъ, Kaspar Schott 9.
Шталь, Georg Ernst Stahl 309.
Штейнгейль 383, 387.

Эдисонъ 369.
Эйлеръ 190.
Эквивалентъ механическій теплоты 147.
Эксцентрикъ 81.
Электризація чрезъ вліяніе 240, 262.
Электричество животное 271.
Электродинамика 340.
Электролизъ 325.
Электромагнитизмъ 333, 365.
Электрометръ квадрантный 232.
Электроскопъ 252; съ золотыми листочками 253.
Электрофоръ 264.
Элементъ Бунзена 332; Грова 332; Лекланше 332.
Элементы гальваническіе 331 и сл.; химическіе 295, 308, 315.
Эленшлегеръ, Oehlenschläger 363.
Элликотъ, John Ellicott 252.
Эндріель, Andriel 96.
Эолипилъ 47.
Эпинусъ, Franz Aepinus 179, 225, 239.
Эренбергъ, Ehrenberg 207.
Эриксонъ, Wallerius Ericson 63.
Эрикссонъ, John Ericsson 97, 105.
Эрстедъ, Hans Christian Oersted 191, 333, 342, 362.

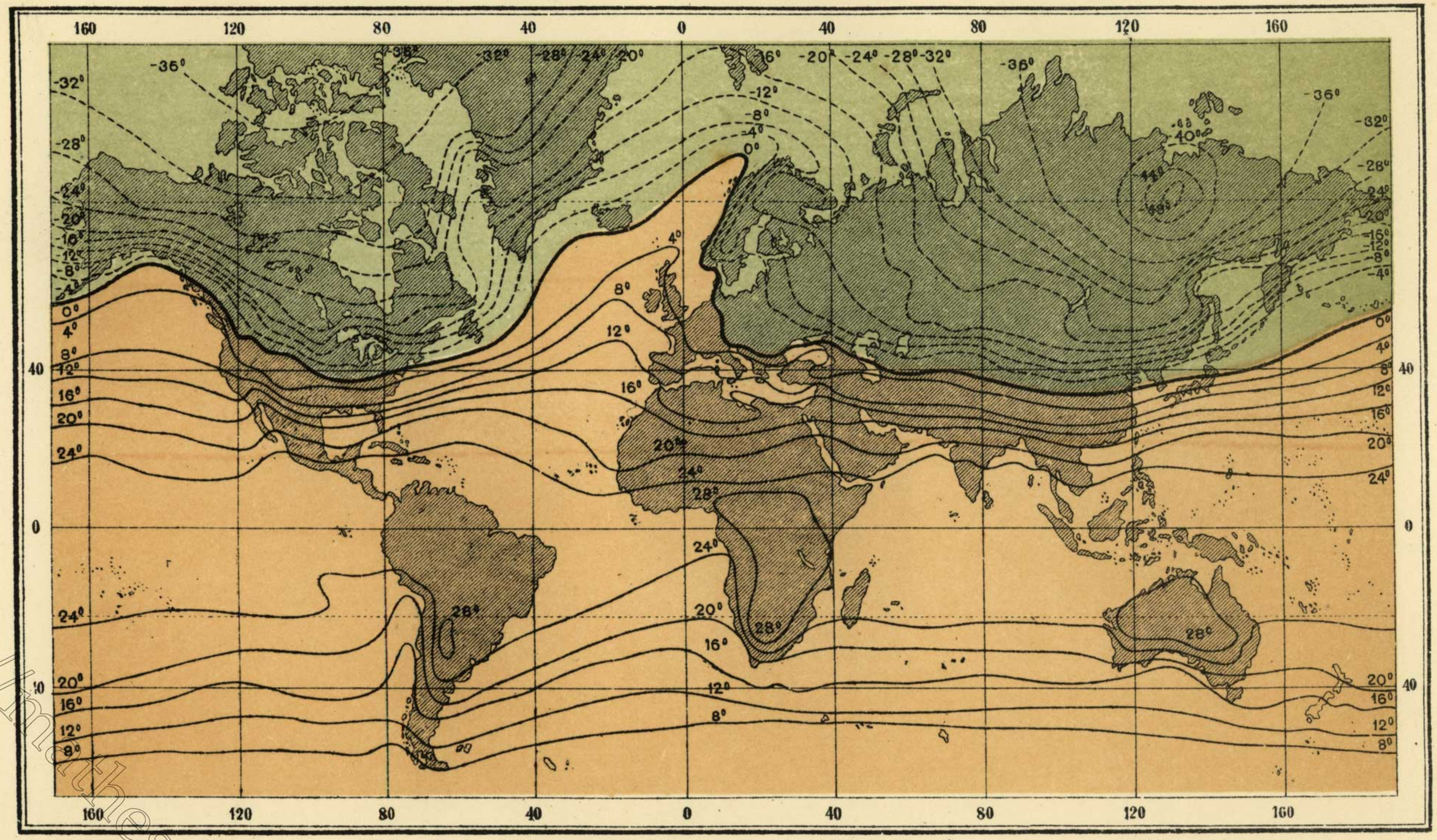
Юзъ, Hughes 386, 392.

Якоби 329, 347.

Өалесъ 165, 293.

http://mathesis.ru

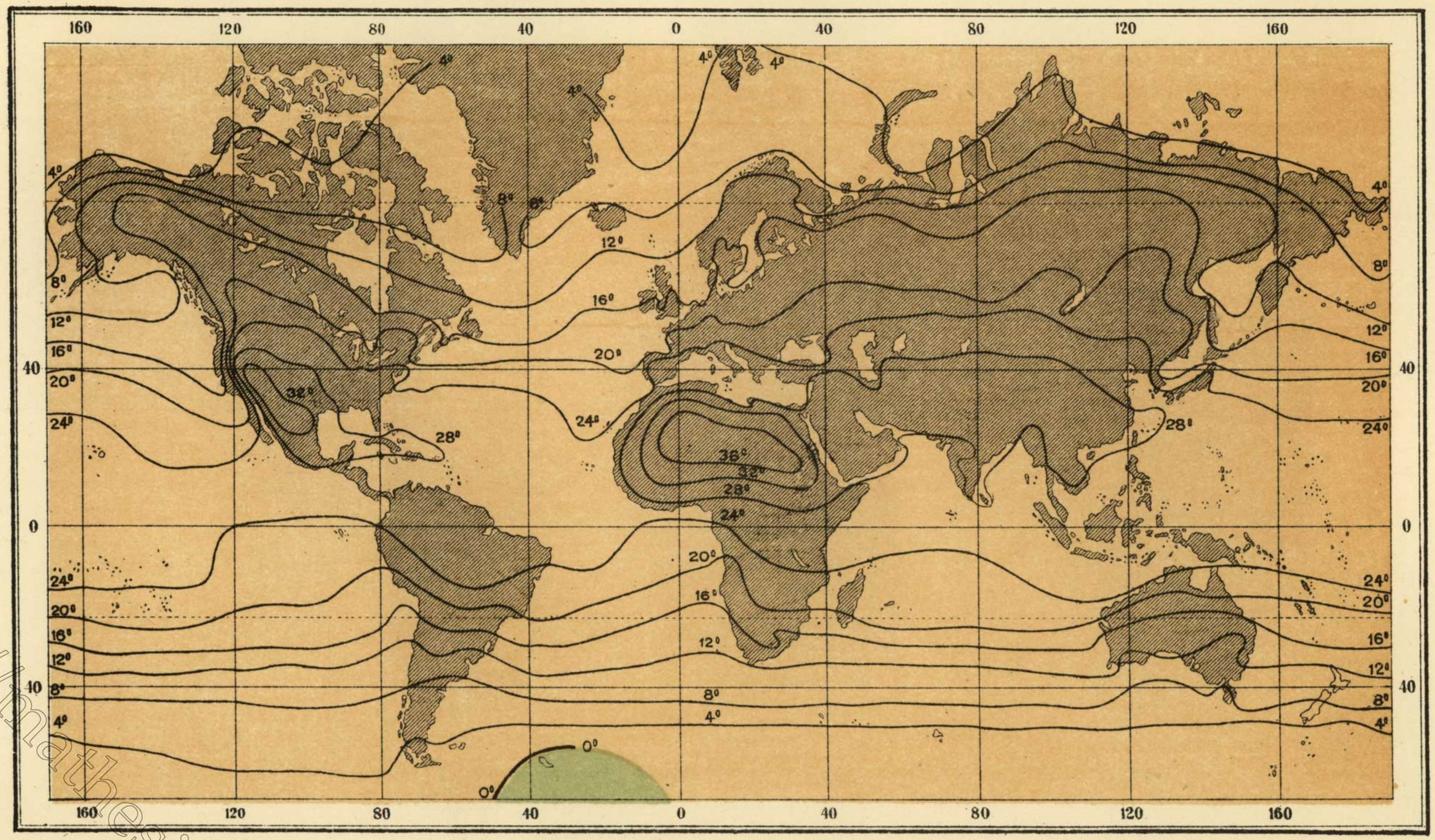
Изотермы Января



http://mathesis.ru

http://mathesis.ru

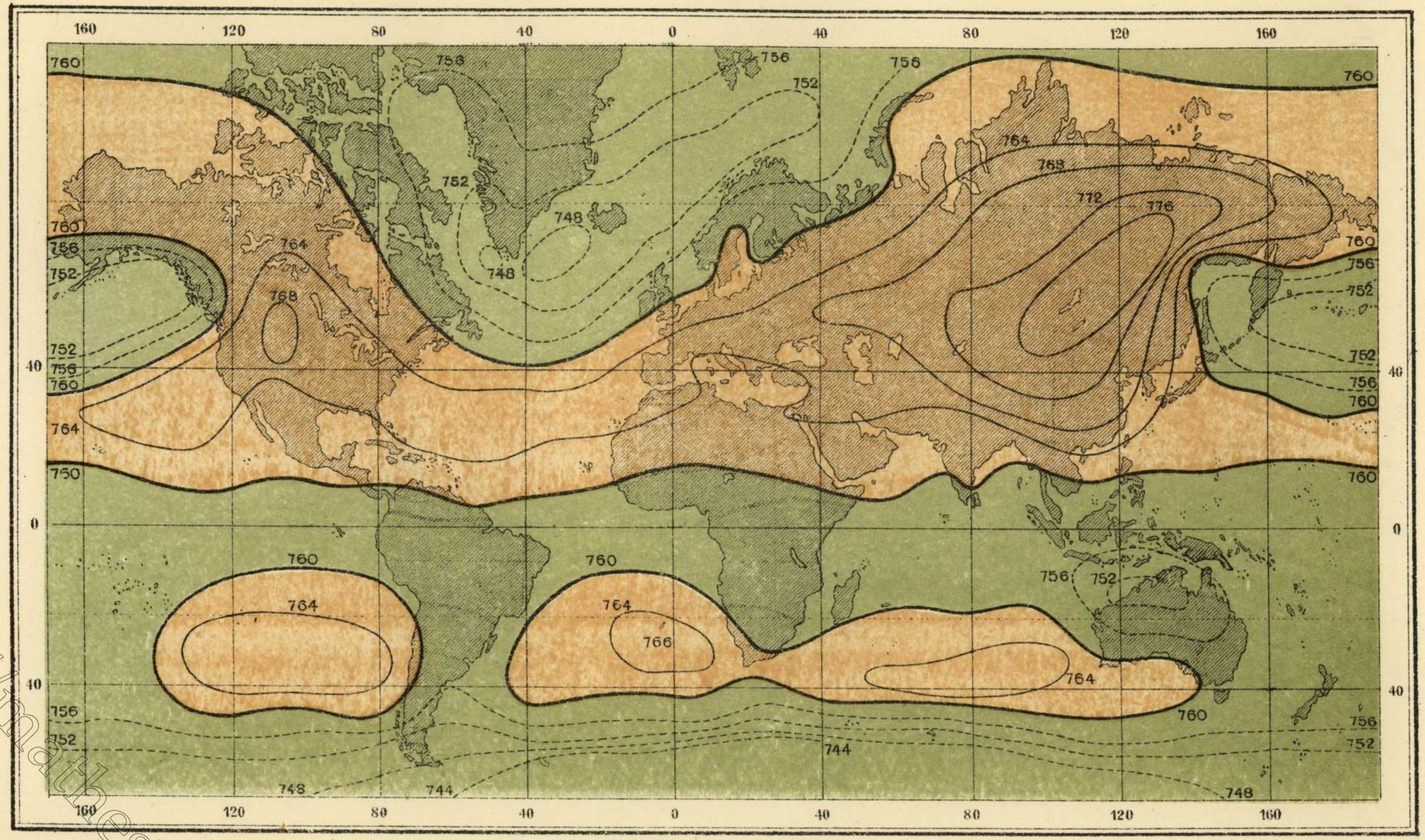
Изотермы Іюля



http://mathesis.ru

http://mathesis.ru

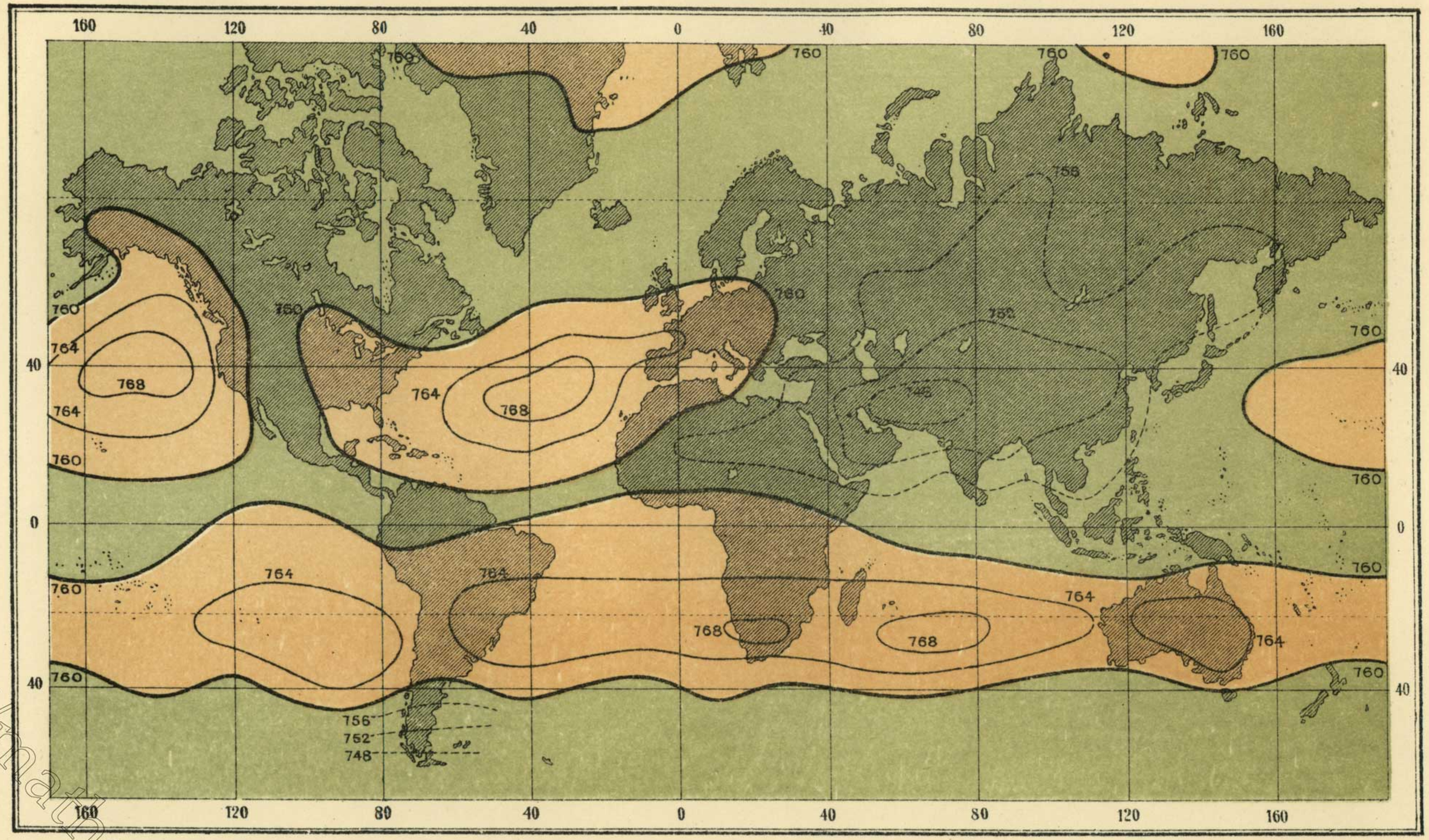
Изобары Января



http://mathesis.ru

http://mathesis.ru

Изобары Іюля



http://mathesis.ru

http://mathesis.ru

ОПЕЧАТКИ

I ТОМЪ.

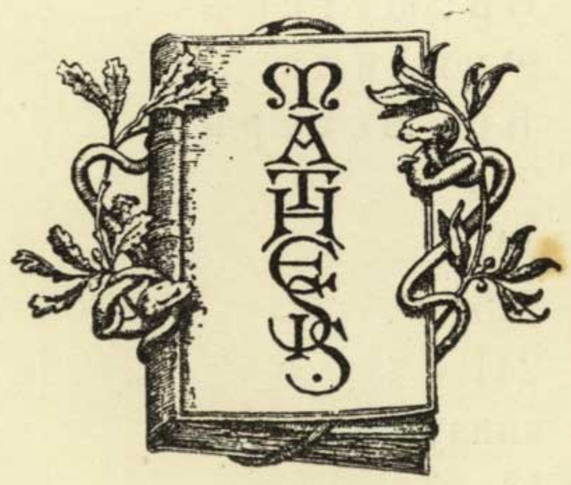
стран.	*строк.*	*напечатано:*	*должно быть:*
11	14 сн.	не болѣе	менѣе
11	7 „	Линія	Линію
26	12 св.	его	перваго
28	16 сн.	Гиппархсъ	Гиппархъ
40	17 св.	ближе	какъ будто ближе
53	5 „	3 и 3	3 и 3′
64	7 сн.	**75**	**73**
83	3 св.	Брьюстеромъ	Брустеромъ
90	1 „	0·76	1 : 0·76
90	2 „	0·88	1 : 0·89
105	4 сн.	Брьюстеромъ	Брустеромъ
137	17 св.	воздухъ не могъ проникнуть	струя воздуха не проникала
138	6 „	130	103
174	12 сн.	157	151
199	4 св.	оставить	оставивъ
224	23 сн.	захватила въ	захватила
232	14 „	Денисъ Папинъ	Дени Папенъ
234	19 „	203	243
243	8 „	затопившихъ	затонувшихъ
243	3 „	Почему бы	Почему
250	5 св.	204	104
263	21 сн.	278	279
264	9 „	282	283
269	7 „	Брьюстеръ	Брустеръ
269	1 „	Эвклида	Евклида
270	15 св.	Брьюстеръ	Брустеръ
271	11 сн.	225	255
280	19 „	147	176
289	21 св.	225	227
296	15 „	241	243
300	23 сн.	книзу	назадъ
301	13 св.	18	$18^1/_2$
304	19 сн.	Брьюстеръ	Брустеръ
317	3 св.	83	82
332	9 „	оно	тѣло
333	19 „	воздуха	изъ этого вещества
348	11 сн.	335	336
351	8 „	самое низшее	наиболѣе низкое

http://mathesis.ru

стран.	*строк.*	*напечатано:*	*должно быть:*
354	20 сн.	языка	язычка
357	1 св.	*й*	*й* (*у*)
380	8 „	красные	и красные
386	11 сн.	168	169
393	6 „	*sadcd*	*sabcd*
409	3 св.	382	383

II ТОМЪ.

31	22 сн.	($^1/_{273}$)	($^1/_{273}$. Законъ Гэ-Люсака, ср. § 342)
72	12 св.	10^{0}0 C	100^{0}C
90	20 „	Весминстерскомъ	Вестминстерскомъ
118	20 „	134	135
119	2 сн.	130	131
121	5 св.	130	132
124	7 „	1880	1800
130	4 „	137	138
142	5 сн.	174	176
143	6 св.	156	157
159	23 „	имѣть	испытывать
159	15 сн.	силы сцѣпленія твердаго даго тѣла	силъ сцѣпленія въ твердомъ тѣлѣ
167	11 св.	216	217
170	9 „	190	191
183	14 сн.	188	186
190	9 „	226	227
198	2 „	225	226
207	5 „	бахомъ	бергомъ
209	10 „	216	221
245	23 „	298	300
332	4 св.	Стурджономъ	Стёрджономъ.



http://mathesis.ru

Книгоиздательство „МАТЕЗИСЪ“.

ВЫШЛИ ВЪ СВѢТЪ СЛѢДУЮЩІЯ ИЗДАНІЯ:

N. Weber и J. Wellstein

ПРОФ. УНИВ. ВЪ СТРАСБУРГѢ. ПРОФ. УНИВЕР. ВЪ ГИССЕНѢ.

ЭНЦИКЛОПЕДІЯ

ЭЛЕМЕНТАРНОЙ МАТЕМАТИКИ.

Руководство для преподающихъ и изучающихъ элементарную математику.

Томъ I. ЭЛЕМЕНТАРНАЯ АЛГЕБРА и АНАЛИЗЪ

обраб. проф. **Веберомъ.**

Переводъ съ нѣмецкаго подъ редакціей и съ примѣчаніями приватъ-доцента В. Ф. КАГАНА.

Учен. Ком. М. Н. Пр. признана заслуживающей вниманія при пополненіи ученич. старш. возр. библ. средн. учебн. заведеній, ***а также рекомендована для выдачи въ награду ученикамъ, интересующимся математикой.***

СОДЕРЖАНІЕ: Книга I. **Основанія ариѳметики**. Гл I. Натуральныя числа. Гл. II. Ариѳметическія дѣйствія. Гл. III. Дѣленіе и введеніе дробей. Гл. IV. Ирраціональныя числа. Гл. V. Отношенія. Гл. VI. Степени и логариѳмы. Гл. VII. Уравненія первой степени. Гл. VIII. Квадратныя уравненія и мнимыя числа. Гл. IX. Перестановки и сочетанія. Гл. X. Различныя приложенія.

Книга II. **Алгебра**. Гл. XI. Алгебраическія уравненія. Гл. XII. Основныя теоремы алгебры Гл. XIII. Неопредѣленныя уравненія первой степени. Гл. XIV. Неопредѣленныя уравненія второй степени. Гл. XV. Непрерывныя дроби. Гл. XVI. Алгебраическое рѣшеніе уравненій третьей и четвертой степени. Гл. XVII. Приближенное вычисленіе корней численныхъ уравненій. Гл. XVIII. Дѣленіе окружности на равныя части. Гл. XIX Доказательства невозможности. Гл. XX. Изъ исторіи алгебры.

Книга III. **Анализъ**. Гл. XXI. Безконечные ряды. Гл. XXII. Безконечные ряды съ положительными и отрицательными членами. Гл. XXIII. Безконечные сходящіеся ряды для показательной и тригонометрическихъ функцій. Гл. XXIV. Биноміальный рядъ. Гл. XXV. Логариѳмическіе ряды. Гл. XXVI. Безконечныя произведенія. Гл. XXVII. Трансцендентность чиселъ e и π. Гл. XXVIII. Функціи, дифференціалы и интегралы.—**Дополненія.** **650 стр. Цѣна 3 р. 50 к.**

Изъ отзывовъ. ....„По поводу лежащаго предъ нами труда можно цитировать слова г. редактора русскаго изданія: „Книга содержитъ, на нашъ взглядъ, мастерское изложеніе элементовъ ариѳметики, алгебры и анализа“. Присоединяясь вполнѣ къ этому отзыву, мы прибавимъ, что въ настоящее время болѣе, чѣмъ когда либо, чувствуется недостатокъ въ трудѣ подобнаго рода, и выходъ въ свѣтъ „энциклопедіи“ несомнѣнно будетъ одобренъ всѣми, занимающимися вопросами математики. Книга издана прекрасно, какъ вообще всѣ изданія книгоиздательства „Mathesis“.

Русская Мысль, декабрь 1907 г. А. Лѣтникъ.

„.... Настоящимъ своимъ сочиненіемъ авторъ [Weber] показалъ, что онъ не только глубокій мыслитель, но и блестящій педагогъ и популяризаторъ. Во всемъ сочиненіи красной нитью проходитъ спокойная увѣренность и стройность изложенія.... вы все время видите предъ собой мастера своего дѣла, который съ любовью показываетъ великія творенія человѣческой мысли, извѣстныя ему до тончайшихъ подробностей, гдѣ каждая мелочь въ его глазахъ гармонично связана съ цѣлымъ.

Выдающіяся достоинства этой книги, широко раздвинувшей обычныя рамки элементарной математики, безъ сомнѣнія, обезпечатъ ей полный успѣхъ въ Россіи, какъ и заграницей; и въ интересахъ правильнаго развитія подростающаго поколѣнія математиковъ слѣдуетъ пожелать, чтобы „Энциклопедія элементарной математики“ Вебера получила возможно болѣе широкое распространеніе“.

Педагогическій Сборникъ, мартъ 1908 г. Прив.-доц. С. Бернштейнъ.

Проф. **Р. ДЕДЕКИНДЪ.**

Непрерывность и ирраціональныя числа.

Переводъ Приватъ-доцента **С. Шатуновскаго.** Съ присоединеніемъ его статьи:

доказательство существованія трансцендентныхъ чиселъ.

40 стр. Цѣна 40 коп.

Учен. Ком. М. Н. Пр. признана заслужив. вниманія при пополн. библ. средн. учебн. завед.

СОДЕРЖАНІЕ: Отъ переводчика—*Непрерывность и ирраціональныя числа.* Предисловіе автора—Свойства раціональныхъ чиселъ—Сравненіе раціональныхъ чиселъ съ точками прямой—Непрерывность прямой линіи—Созиданіе ирраціональныхъ чиселъ—Непрерывность области вещественныхъ чиселъ—Вычисленія съ вещественными числами—Анализъ безконечныхъ—*Доказательство существованія трансцендентныхъ чиселъ.* Предварительныя замѣчанія — Опредѣленіе трансцендентнаго числа—Понятіе объ исчислимомъ комплексѣ—Комплексъ веществен. алгебраич. чиселъ.

Изъ отзыва. „....Занимающая насъ брошюра Дедекинда принадлежитъ къ числу классическихъ работъ глубокомысленнаго германскаго геометра. Проникнуться современными взглядами на ирраціональныя числа, не обратившись къ такимъ первоисточникамъ, какъ изданный въ переводѣ г. Шатуновскаго трудъ Дедекинда, едва-ли возможно. Въ этомъ смыслѣ не представляется никакой надобности въ какой либо рецензіи на этотъ небольшой по объему, но такъ сказать, законодательный по содержанію трудъ Дедекинда.

Въ занимающемъ насъ русскомъ переводѣ, превосходно и съ величайшей любовью къ дѣлу исполненномъ г. Шатуновскимъ, заслуживаютъ вниманія и предисловіе переводчика, и составленное имъ, по Георгу Кантору, приложеніе, содержащее въ себѣ теорему о существованіи трансцендентныхъ чиселъ, и даже примѣчанія переводчика, хотя и краткія, но чрезвычайно полезныя для читателя, впервые читающаго Дедекинда. Приложеніе доказательства, по Георгу Кантору, теоремы о существованіи чиселъ трансцендентныхъ тѣмъ особенно цѣнно, что на простыхъ примѣрахъ иллюстрируетъ взгляды этого геометра на природу чиселъ вообще и въ формѣ, доступной даже для лицъ, необладающихъ большимъ досугомъ и значительнымъ математическимъ образованіемъ, популяризуетъ введенныя этимъ геометромъ въ обиходъ математическаго изслѣдованія понятія объ исчислимомъ комплексѣ, о комплексѣ неисчислимомъ, о „мощности“ комплекса и т. п.

Желаемъ интересующему насъ переводу работы Дедекинда объ ирраціональномъ числѣ возможно больш. успѣха“. С. Шохоръ-Троцкій. *Рус. Шк.*, окт. 1907.

В. КАГАНЪ, прив-доц.

Задача обоснованія геометріи

въ современной постановкѣ.

Рѣчь, произнесенная при защитѣ диссертаціи на степень магистра чистой математики.

35 страницъ. Съ 11 рисунками. Цѣна 35 коп.

Проф. **В. ЦИММЕРМАНЪ**

ОБЪЕМЪ ШАРА, ШАРОВОГО СЕГМЕНТА и ШАРОВОГО СЛОЯ

34 страницы. Съ 6 рисунками. Цѣна 25 коп.

Отъ автора. „Желая найти простое доказательство предложеній объ объемѣ шара, шарового сегмента и шарового слоя, я пришелъ къ одной теоремѣ, изъ которой могутъ быть выведены помощью весьма несложныхъ выкладокъ извѣстныя выраженія для объема шара, сегмента и слоя. Возможно, что эта теорема, или теорема аналогичная, была уже кѣмъ-либо доказана и опубликована. Но такъ какъ указаній, которые подтверждали бы такое предположеніе, я не встрѣчалъ, найденная же мною теорема не лишена, какъ мнѣ кажется, извѣстнаго интереса, то я и рѣшилъ опубликовать ее... съ болѣе или менѣе полнымъ доказательствомъ и съ выводомъ изъ нея предложеній объ объемѣ шара, сегмента и слоя“.

Книгоизд. „Матезисъ“. Одесса, Новосельск. 66.

http://mathesis.ru

Проф. **Г. ГЕЙБЕРГЪ,**

НОВОЕ СОЧИНЕНІЕ АРХИМЕДА.

Посланіе Архимеда къ Эратосѳену о нѣкоторыхъ теоремахъ механики.

Пер. съ нѣмецкаго подъ редакціей „Вѣстника Опытной Физики и Элементарной Математики“. Съ предислов. приватъ-доцента **И. Ю. Тимченко.**

XVI+32 стр. Цѣна 40 коп.

Изъ предисловія прив.-доц. Тимченко. „Архимедъ-величайшій математикъ древности, одинъ изъ величайшихъ геніевъ всѣхъ временъ. Древніе передавали чудесные разсказы о его открытіяхъ и изобрѣтеніяхъ, и слава его пережила многіе вѣка и, нисколько не померкнувъ, дошла до нашего времени...

Сочиненіе, вновь открытое Гейбергомъ въ палимпсестѣ на Константинопольскомъ подворьѣ монастыря Св. Гроба Господня въ Іерусалимѣ, носитъ заглавіе, которое по русски могло бы быть переведено такъ: книга Архимеда, содержащая изложеніе метода, связаннаго съ механическими теоремами... Эѳодикъ, какъ я буду называть новое сочинеиіе Архимеда, близко подходитъ по содержанію своему, съ одной стороны, къ книгамъ о равновѣсіи плоскихъ фигуръ и о квадратурѣ параболы, съ другой—къ книгамъ о шарѣ и цилиндрѣ и въ особенности оконоидахъ и сфероидахъ“...

Имѣется на складѣ:

НОВАЯ ГЕОМЕТРІЯ ТРЕУГОЛЬНИКА

Составилъ кандидатъ физико-математическихъ наукъ,
преподаватель школы колористовъ при Иваново-Вознесенскомъ реальномъ училищѣ **Д. Ефремовъ.**

334+XIII страницъ Цѣна 2 руб.

СОДЕРЖАНІЕ: О трансверсаляхъ и прямыхъ Чевы—О рядахъ и пучкахъ—О полярахъ и радикальныхъ осяхъ—Объ обратныхъ фигурахъ—Антипараллельныя, изогональныя и изотомическія прямыя треугольника—Медіаны и симедіаны треугольника—О подобныхъ фигурахъ—О подарныхъ треугольникахъ—Метаполюсы и нѣкоторыя замѣчательныя окружности треугольника—Гармоническіе четыреугольники и многоугольники—Алфавитный указатель.

Г. АБРАГАМЪ.

преподаватель высшей нормальной школы въ Парижѣ.

СБОРНИКЪ ЭЛЕМЕНТАРНЫХЪ ОПЫТОВЪ ПО ФИЗИКѢ

Составленный по порученію Французскаго Физическаго Общества при участіи многихъ профессоровъ и преподавателей физики.

Переводъ съ французскаго подъ редакціей приватъ-доцента **Б. П. Вейнберга.**

Часть I. Работы въ мастерской—Различные рецепты—Геометрія. Механика—Гидростатика. Гидродинамика. Капиллярность—Теплота—Числовыя таблицы.

Стр. XVI+272. Свыше 300 рисунк. Изд. 2-е **Цѣна 1 р. 50 к.**

Допущено Уч. Ком М. Н. Пр. въ учен. библ. средн. уч. зав., учит. семин. и городск., по положенію 31 мая 1872 г., училищъ, а равно и въ безплатн. народн. читальни и библіотеки.

Часть II. Акустика — Оптика — Электричество и магнитизмъ — Числовыя таблицы—Алфавитный указатель.

Стр. 434+LXXV. Свыше 400 рисунковъ. **Цѣна 2 р. 75 к.**

Изъ отзывовъ о I части: „... кромѣ того составитель пользовался 64-мя сочиненіями, такъ что разсматриваемый сборникъ имѣетъ, кромѣ составителя, какъ бы 218 сотрудниковъ, на которыхъ и даны указанія въ соотвѣтственныхъ мѣстахъ текста... Нѣтъ сомнѣнія, что содержаніе книги вполнѣ соотвѣтствуетъ ея назначенію и что она можетъ принести большую пользу тому дѣлу, которому она назначена служить. Русскій переводъ, просмотрѣнный весьма опытнымъ въ этомъ дѣлѣ ре-

http://matheses.ru

акторомъ, никакихъ замѣчаній не вызываетъ". Проф. *О. Хвольсонъ.*
Ж. М. Н. Пр. апр. 1905 г.

„Переводъ сдѣланъ очень тщательно, рисунки выполнены превосходно, вообще книга можетъ служить прекраснымъ руководствомъ въ физической лабораторіи".
Русская Мысль, апрѣль 1905 г.

Изъ отзывовъ о II части: „Предъ нами теперь 2-ая часть этого труда, заключающая въ себѣ опыты по наиболѣе интереснымъ отдѣламъ физики: звуку, свѣту, электричеству и магнитизму. Мы не можемъ не указать на богатый подборъ матеріала по этимъ важнымъ отдѣламъ физики; не говоря о томъ, что всѣ наиболѣе извѣстныя работы находятъ себѣ мѣсто на страницахъ этой чрезвычайно полезной книги, но мы встрѣчаемъ здѣсь цѣлый рядъ опытовъ, до сихъ поръ не введенныхъ въ кругъ занятій опытной физикой, которые несомнѣнно представляютъ, каждый, выдающійся интересъ. Къ числу такихъ опытовъ принадлежитъ: синхронизація и резонансъ медленныхъ колебаній (акустика), изученіе фотографическаго объектива и чувствительность фотографическихъ пластинокъ (оптика), электрическая конвекція въ газахъ, перемѣнные токи (электричество) и т. д. Мы надѣемся, что разбираемый трудъ станетъ настольной книгой каждой физической лабораторіи въ Россіи". *Русская Мысль,* августъ 1906 г.

„Сочувственные отзывы о „Сборникѣ" Абрагама уже появились въ нѣмецкой литературѣ, которая признаетъ появленіе его выдающимся событіемъ, объединившимъ физиковъ почти всей Европы". А. Н. *Образованіе,* февраль 1906 г.

УСПѢХИ ФИЗИКИ.

Сборникъ статей о важнѣйшихъ открытіяхъ послѣднихъ лѣтъ въ общедоступномъ изложеніи.
подъ редакціей „Вѣстника Опытной Физики и Элементарной Математики".

СОДЕРЖАНІЕ: Проф. *Винеръ*, Расширеніе нашихъ чувствъ—Проф. *Пильчиковъ,* Радій и его лучи—Проф. *Дебіернъ,* Радій и радіоактивность—Проф. *Рихарцъ,* Электрическія волны—Проф. *Слаби,* Телеграфированіе безъ проводовъ—Проф. *Шмидтъ*, Задача объ элементарномъ веществѣ (основанія теоріи электроновъ).

IV+148 стр. съ 41 рис. и 2 табл. **Изданіе 2-е. Цѣна 75 коп.**

Допущено Уч. Ком. М. Н. П. въ учен. старш. возр. библ. средн. учебн. заведеній, а равно и въ безпл. народн. библіотеки и читальни.

„Книга начинается рѣчью проф. Винера, дающей ясное представленіе о тѣхъ успѣхахъ, которыхъ достигли за послѣднее время самые методы физическаго изслѣдованія. Книга раздѣляется на 6 статей... Всѣ эти вышеприведенныя имена (авторовъ статей) достаточно отвѣчаютъ за научность и достоинство лежащаго предъ нами сборника". *Русская мысль,* апрѣль 1906 г.

„Выборъ статей въ этомъ сборникѣ главнымъ образомъ палъ на радій и электрическія волны,—что безъ сомнѣнія, соотвѣтствуетъ общему интересу. Хотя въ нашей научно-популярной литературѣ появилось немало статей и брошюръ на эти темы, но компетентное редактированіе переводныхъ статей и удачный выборъ авторовъ дѣлаютъ разсматриваемую книгу полезной и интересной"...
„*Физикъ-Любит.* янв. 1905 г.

„Изящно изданный и недорогой сборникъ прочтется каждымъ интересующимся съ большимъ интересомъ...". *Вѣстникъ знанія,* май 1906 г.

Ф. АУЭРБАХЪ. Проф. Іенскаго университета.

ЦАРИЦА МІРА И ЕЯ ТѢНЬ

Общедоступное изложеніе основаній ученія объ ЭНЕРГІИ и ЭНТРОПІИ.

Переводъ съ нѣмецкаго. Съ предисловіемъ Ш. Э. Гильома, Вице-Директора Международнаго Бюро Мѣръ Вѣсовъ.

VIII+56 стр. **Изданіе 3-е. Цѣна 40 к.**

Допущено Уч. Ком. М. Н. Пр. въ учен. старш. возр. библіотеки средн. учебн. заведеній, а равно и въ безпл. народн. библіотеки и читальни.

СОДЕРЖАНІЕ: Предисловіе—Законъ сохраненія энергіи. Энергія—царица міра. Законъ сохраненія вещества. Количество вещества неизмѣнно, но его качества видоизмѣняются—Работа—Запасы работы. Энергія и ея различныя формы. Измѣреніе работы—Кинетическая энергія. Потенціальная энергія—Преобразованія энергіи. Механическій эквивалентъ тепла—Явленія природы представляютъ преобразованія энергіи—Измѣненіе является характерной особенностью всѣхъ явленій природы—Явленія въ природѣ стремятся къ выравниванію—Разсѣяніе энергіи.

http://mathesis.ru

Интенсивность и экстенсивность ея. Неполная обратимость. Изнашиваніе—Энтропія есть степень разсѣянія энергіи—Слѣдствія энтропіи—Примѣчанія—Библіографія.

„Давно намъ не приходилось читать столь увлекательно и ясно написанной научно популярной брошюры... Нѣтъ въ философіи физики болѣе глубокихъ и въ то же время болѣе трудно усваиваемыхъ понятій, какъ энергія и особенно энтропія; они трудны даже для научнаго изложенія и тѣмъ удивительнѣе искусство проф. Ауэрбаха, сумѣвшаго въ краткой брошюрѣ выяснить для самой широкой публики сущность и значеніе этихъ двухъ основныхъ принциповъ современной физики. Особенно оригинальны по методу доказательствъ и блестящи по изложенію тѣ мѣста брошюры Ауэрбаха, гдѣ онъ выясняетъ „реальность" энергіи, которую совершенно такъ же, какъ и вещество, мы можемъ покупать и продавать, накоплять и расточать и даже воровать. Еще труднѣе для популярнаго изложенія понятіе объ энтропіи; до того, какъ мы прочли статью проф. Ауэрбаха, намъ, по крайней мѣрѣ, казалось, что это понятіе не поддается такому изложенію"....

Міръ Божій, сент. 1905.

Проф. **ДЖ. ПЕРРИ.**

ВРАЩАЮЩІЙСЯ ВОЛЧОКЪ

публичная лекція, содержащая популярное изложеніе теоріи волчка.

Переводъ съ англійскаго.

VIII+96 страницъ. Съ 63 рисунк. Изд. 2-е. Цѣна 60 коп.

Учен. Ком. М. Н. Пр. признана заслуживающей вниманія при пополненіи ученическихъ библіотекъ средн. учебн. заведеній.

Изъ отзывовъ. „Съ первой страницы своей книги профессоръ Дж. Перри овладѣваетъ вниманіемъ читателя и во всей книгѣ описываетъ и поясняетъ такъ много занимательныхъ опытовъ и явленій изъ области астрономіи, физики и механики, что читатель складываетъ книгу только тогда, когда прочтетъ послѣднія строки послѣдней страницы. „Если бы,—говоритъ авторъ,—подробному изслѣдованію вращающагося волчка было удѣлено больше вниманія, то успѣхи человѣчества въ области прикладной механики и во многихъ отрасляхъ промышленности были бы гораздо болѣе значительны. Общія астрономическія свѣдѣнія были бы лучше. Геологи не дѣлали бы ошибокъ въ милліоны лѣтъ, а наши знанія о свѣтѣ, о лучистой теплотѣ и о другихъ электромагнитныхъ явленіяхъ развивались бы много скорѣй, чѣмъ сейчасъ". Справедливость своихъ словъ авторъ подтверждаетъ рядомъ положеній; онъ начинаетъ съ разбора теоріи вращательнаго движенія, переходитъ затѣмъ къ разбору механическихъ явленій и послѣ тщательнаго изложенія причинъ, вызывающихъ астрономическое явленіе—предвареніе равноденствій, заканчиваетъ свою лекцію разсмотрѣніемъ теоріи свѣта, электричества и магнитизма. Все изложено въ самой общедоступной формѣ и читается легко...

Лекція, составляющая содержаніе книги, сопровождалась искусными опытами; въ книгѣ же они освѣщены многими рисунками, въ значительной степени помогающими чтенію. Многіе изъ этихъ опытовъ извѣстны всѣмъ, но соединенные въ одной лекціи въ порядкѣ научной послѣдовательности, они захватываютъ широкіе научные горизонты и приносятъ несомнѣнную пользу...

Такой прекрасной книгѣ нельзя не пожелать широкаго распространенія".

Новое Время, 15 ноября 1906 г. Проф. С. Глазенапъ.

„Вотъ книжка, воочію, показывающая, какъ люди истиннаго званія, не цеховой только науки, умѣютъ распоряжаться научнымъ матеріаломъ при его популяризаціи... О томъ, что все научное міросозерцаніе проф. Дж. Перри насквозь проникнуто благороднѣйшимъ научнымъ идеализмомъ, говорить было бы безполезно, и въ этомъ отношеніи его міросозерцаніе примыкаетъ къ міросозерцанію такихъ корифеевъ истиннаго знанія, какими были Леонардо да-Винчи, Галилей, Ньютонъ. „Подъ солнцемъ нѣтъ ничего дурного, чего не могло бы очистить и побѣдить знаніе, руководимое серьезной и твердой волей; и нѣтъ ни женщины ни мужчины, родившихся на этой землѣ, которымъ не была бы удѣлена способность не только усваивать знанія для собственнаго усовершенствованія и удовольствія, но также и прибавить нѣчто новое, хотя бы и въ самой малой степени, къ общему запасу научныхъ свѣдѣній, которыя являются лучшимъ богатствомъ міра". Такими истинно благородными словами заканчиваетъ Дж. Перри свою блестящую лекцію о вращающемся волчкѣ.

Желаемъ и этому изданію фирмы Mathesis полнаго и вполнѣ заслуживаемаго имъ успѣха". С. Шохоръ-Троцкій. *Русск. Шк.* іюль-авг. 1907.

Проф. **В. С. Д. ВЕТГЭМЪ**

СОВРЕМЕННОЕ РАЗВИТІЕ ФИЗИКИ

ПЕРЕВОДЪ СЪ АНГЛІЙСКАГО

подъ редакціей приватъ-доцентовъ **Б. П. Вейнберга и А. Р. Орбинскаго.**

СОДЕРЖАНІЕ: Введеніе—I. Философскія основы физики—II. Сжиженіе газовъ и абсолютный нуль температуры—III. Плавленіе и застываніе—IV. Задачи растворовъ—V. Прохожденіе электричества сквозь газы—VI. Радіоактивность—VII. Атомы и эѳиръ—VIII. Астрофизика.

Съ приложеніемъ рѣчи Перваго Министра Англіи (1902—1905) *A. J. Balfour*:

НѢСКОЛЬКО МЫСЛЕЙ О НОВОЙ ТЕОРІИ ВЕЩЕСТВА,

произнесенной въ Кэмбриджскомъ собраніи Британской Ассоціаціи для Преуспѣянія Наукъ, августа 1904.

VIII+319 стр. съ 5 портр., 6 табл. и 33 рис. въ текстѣ. Цѣна 2 руб.

Изъ предисл. проф. Ветгэма: „Обходясь по возможности безъ техническихъ выраженій, эта книга можетъ пригодится... тому, кто интересуется всѣми болѣе важными выводами научной мысли... Онъ (авторъ) съ благодарностью отмѣчаетъ помощь нѣсколькихъ друзей. Такъ, г. Невиль критиковалъ главы о философскихъ основахъ физики и о плавленіи и застываніи; лордъ Бёркли прочелъ изложеніе теоріи растворовъ; проф. Дж. Дж. Томсонъ просматривалъ оригинальную статью, изъ которой взяты главы о прохожденіи электричества сквозь газы и объ радіоактивности; проф. Ларморъ пересмотрѣлъ главу объ атомахъ и эѳирѣ, а г. Ньюоллъ главу объ астрофизикѣ“.

Изъ отзывовъ „..Книгоиздательство „Mathesis“, давно уже зарекомендовавшее себя передъ русскимъ обществомъ съ лучшей стороны, выпустило теперь переводъ книги Ветгэма, представляющей собою громадную цѣнность какъ подборомъ статей, такъ и ихъ популярно-научнымъ изложеніемъ....

„Современное развитіе физики“ настолько интересно и захватываетъ своими широкими обобщеніями, что становится понятнымъ интересъ къ этой книгѣ, выразившейся въ ея двукратномъ (англійскомъ) изданіи въ теченіе двухъ мѣсяцевъ... Изцана она, какъ вообще всѣ изданія „Mathesis“, безукоризненно, что не повліяло на цѣну книги“ А. Лѣтникъ. *Русская мысль*, апрѣль 1908 г.

„....Ветгэмъ старается представить въ стройной и глубокой системѣ всѣ явленія физическаго опыта и рисуетъ читателю дѣйствительно захватывающую картину грандіозныхъ завоеваній человѣческаго генія... Неожиданныя и мѣткія сближенія явленій разнаго порядка, блестящая иллюстрація къ какому нибудь математическому символу и ясное физическое истолкованіе сложной математической теоріи позволяютъ войти въ курсъ труднѣйшихъ проблемъ современной физики. Несомнѣнно, что и самая манера изложенія, манера ученаго, страстно увлекающагося возникающими предъ его взоромъ образами и горизонтами, помогаетъ всецѣло овладѣть вниманіемъ читателя...“ Л. Б. *Современный Міръ*, іюль 1908 г.

Проф. **О. ЛЕМАНЪ.**

ЖИДКІЕ КРИСТАЛЛЫ И ТЕОРІИ ЖИЗНИ

Докладъ сдѣланный въ общемъ собраніи 78 съѣзда германскихъ естествоиспытателей и врачей.

Переводъ съ нѣмецкаго **П. В. КАЗАНЕЦКАГО** подъ редакціей „**Вѣстника Опытной Физики и Элементарной Математики**“.

IV+43 стр. съ 30 рисунк. Цѣна 40 коп.

Отъ переводчика. „Не касаясь вопроса объ аналогіи явленій, наблюдаемыхъ въ жидкихъ кристаллахъ, съ явленіями, присущими живымъ существамъ, самое существованіе жидкихъ кристалловъ представляетъ въ высшей степени важное открытіе въ неорганическомъ мірѣ. Достаточно сказать, что кристаллическое строеніе вещества является первымъ и самымъ важнымъ базисомъ для рѣшенія вопроса объ индивидуальности химическаго соединенія. Но, съ другой стороны, изученіе свойствъ и явленій, характеризующихъ жидкіе кристаллы, затрагиваетъ вопросъ объ отсутствіи различія между кристаллическими и некристаллическими аморфными тѣлами“...

---

http://mathesis.ru

А. РИГИ.

Проф. универс. въ Болоньѣ.

Современная теорія физическихъ явленій.

(Радіоактивность, іоны, электроны).

XII+156 стр. Съ 21 рисунк. Цѣна 1 руб.

Переводъ съ III-го (1907) дополнен. и переработаннаго итальянск. изданія.

СОДЕРЖАНІЕ. Введеніе. Гл. I. Электролитическіе іоны и электроны. Гл. II. Электроны и свѣтовыя явленія. Гл. III. Природа катодныхъ лучей. Гл. IV. Іоны въ газахъ и въ твертыхъ тѣлахъ. Гл. V. Радіоактивность. Гл. VI. Атомныя измѣненія радіоактивныхъ тѣлъ. Гл. VII. Масса, скорость и электрическій зарядъ іоновъ и электроновъ и строеніе матеріи.

Изъ предисловія автора. „Многочисленныя изслѣдованія электрическаго разряда, произведенныя въ послѣдніе годы, удачные опыты, завершившіе электромагнитную теорію свѣта, наконецъ открытіе магнитно-оптическихъ явленій и радіоактивности имѣли результатомъ созданіе новой и интересной отрасли науки и въ то же время привели къ новой теоріи, которая гармонически объединяетъ всѣ эти явленія; основныя идеи о непосредственной причинѣ электрическихъ и вообще физическихъ явленій кореннымъ образомъ измѣнились благодаря этимъ открытіямъ...

Въ настоящее время произошла новая эволюція въ нашихъ воззрѣніяхъ на эти явленія; хотя первичная причина ихъ все еще остается для насъ скрытой, но *электричеству приписывается атомистическое строеніе.* Эта новая точка зрѣнія, къ которой приводятъ упомянутыя выше изслѣдованія, повидимому, оказывается столь же плодотворной, какъ и аналогичная гипотеза, давно уже принятая относительно строенія вещества: она даетъ возможность установить тѣсную связь, часто даже количественную, между явленіями, которыя на первый взглядъ кажутся совершенно разнородными и независящими другъ отъ друга...

Мы изложимъ здѣсь главные факты, которые привели къ теоріи электроновъ и постараемся выяснить эту теорію, по крайней мѣрѣ, въ общихъ чертахъ".

Изъ предисловія къ французскому изданію Г. Липмана,

члена Французской Академіи наукъ и профессора въ Сорбоннѣ.

„Профессоръ Риги поставилъ себѣ цѣлью изложить въ доступной формѣ теорію электроновъ, которая служитъ въ настоящее время для объясненія большого числа явленій, недавно открытыхъ. Ему удалось въ небольшой брошюрѣ ясно изложить происхожденіе и развитіе этой плодотворной идеи...

Риги показываетъ, какъ идея объ электронахъ возникла изъ гипотезы объ іонахъ Онъ выясняетъ безъ большихъ вычисленій, какъ можно было опредѣлить массы и скорости электроновъ; онъ тщательно развиваетъ каждую часть своего сочиненія сообразно тому значенію, которое онѣ получили въ современной наукѣ. Нужно имѣть въ виду, что Риги и самъ своими талантливыми работами много содѣйствовалъ развитію теоріи іонизаціи газовъ".

Проф. **А. РИГИ.**

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРИРОДА МАТЕРІИ.

Вступительная лекція, читанная 12 апрѣля 1907 г.

Переводъ съ итальянскаго подъ редакціей **„Вѣстника Опытной Физики и Элементарной Математики"**

28 стран. цѣна 30 к.

Имѣется на складѣ. **Ф. ЛИНДЕМАНЪ.**

ФОРМА и СПЕКТРЪ АТОМОВЪ

Рѣчь произнесенная на годичномъ актѣ Мюнхенскаго университета въ 1905 г. его ректоромъ.

Переводъ съ нѣмецкаго. **Цѣна 20 коп.**

Книгоизд. „Матезисъ". Одесса, Новосельск. 66.

http://mathesis.ru

А. В. КЛОССОВСКІЙ

Заслуженный профессоръ.

Физическая жизнь нашей планеты

на основаніи современныхъ воззрѣній

Второе исправленное и дополненное изданіе. 45 стр. **Ц. 40 к.**

Стр. 1. „Въ туманной дали истекшихъ эпохъ мы мысленно возсоздаемъ тотъ процессъ, при посредствѣ котораго планета наша получила самостоятельное существованіе. Отдѣлившись отъ болѣе могущественной космической туманности, первоначальная масса земли носилась въ холодномъ міровомъ пространствѣ. Въ этомъ юномъ космическомъ тѣлѣ, вслѣдствіе процессовъ сгущенія вещества къ центру, химическихъ воздѣйствій, а также деформацій, вызванныхъ тяготѣніемъ къ центральному тѣлу должны были происходить постоянныя перемѣщенія, отдѣльные взрывы, мѣстныя поверхностныя отвердѣванія, послѣдовательныя образованія коры и ея разрывы. Катастрофы слѣдовали за катастрофами. Это была элементарная жизнь грубой силы и простѣйшей матеріи.

Но, мало по малу, физическая жизнь нашей планеты стала осложняться.....

...по мѣрѣ приближенія къ переживаемой нами эпохѣ, эти смутные и неясные намеки природы принимаютъ болѣе и болѣе опредѣленный характеръ. Природа, по удачному выраженію одного геолога, начинаетъ скоплять громадные естественные архивы, колоссальные фоліанты, на скрижаляхъ которыхъ отмѣчена исторія земли. Скрижали эти скрыты въ нѣдрахъ земли; это геологическія отложенія и пласты... Правда, что многіе архивы природы намъ еще недоступны, многія страницы этихъ фоліантовъ истлѣли, разрознены или потеряны. Тѣмъ не менѣе, естествоиспытатель сумѣлъ разгадать языкъ природы и возстановить картину прошлаго. Но пройдемъ мимо этихъ фоліантовъ, задача наша иная. Мы раскроемъ лишь страницы, относящіяся къ современной физической жизни земли и къ тѣмъ методамъ и задачамъ ея изученія, которые прошлый XIX вѣкъ передалъ въ наслѣдіе текущему XX-му столѣтію“....

С. АРРЕНІУСЪ.

Профессоръ высшей школы въ Стокгольмѣ.

ФИЗИКА НЕБА.

Разрѣшенный авторомъ и дополненный по его указаніямъ

Переводъ съ нѣмецкаго подъ редакціей приватъ-доцента **А. Р. Орбинскаго.**

VIII+250 стр. съ 66 черными и 2 цвѣтными рисунками въ текстѣ и 1 черной и 1 цвѣтной отдѣльными таблицами. **Цѣна 2 руб.**

Допущено Уч. Ком. М. Н. Пр. въ учен. старш. возр. библіотеки средн. учебн. заведеній, а равно и въ безпл. народн. библіотеки и читальни.

СОДЕРЖАНІЕ. **I. Неподвижныя звѣзды. II. Солнечная система. III. Солнце. IV. Планеты, ихъ спутники и кометы.**

Отдѣльныя таблицы: **Карта экваторіальной зоны звѣзднаго неба** отъ 30° сѣв. склон. до 30° южн. склон. по Г. Витту.

Таблица спектровъ (въ краскахъ): сѣвернаго сіянія, туманности въ Драконѣ, протуберанцы, Т. Вѣнца, Сиріуса, α Оріона, атмосферы, солнца, этилена, кометы II 1868.

Изъ отзывовъ—„Являясь весьма полезнымъ пособіемъ для студентовъ физико-математическаго факультета, эта книга должна немедленно занять свое мѣсто въ спискахъ книгъ, рекомендуемыхъ для самообразованія. Она вполнѣ доступна для лицъ съ подготовкою приблизительно средней школы. Съ другой стороны эта книга не есть обычный учебникъ, ограничивающійся кругомъ установленныхъ и общепринятыхъ положеній: автору принадлежитъ нѣсколько смѣлыхъ мыслей, которыя дѣлаютъ книгу особенно интересной, такъ какъ здѣсь мы встрѣчаемся съ попыткой привлечь на службу астрофизики новѣйшіе факты и теоріи изъ области физическихъ ученій Какъ бы не измѣнились построенія Арреніуса въ дальнѣйшемъ развитіи науки, во всякомъ случаѣ уже тѣ результаты, которыхъ онъ достигъ, показываютъ плодотворность и законность такихъ попытокъ... Переводъ выполненъ очень хорошо. Издана книга очень хорошо, настолько хорошо, что цѣну—2 рубля за книгу въ 250 стр.—нужно признать невысокой. Мы надѣемся, что книга встрѣтитъ самый сочувственный пріемъ“. А. Т. *Міръ Божій, апрѣль 1905 г.*

---

http://mathesis.ru

„Попытка популяризировать астрофизику сама по себѣ можетъ быть встрѣчена съ благодарностью; настоящая же книга, въ которой научность содержанія, ясность и простота изложенія и превосходный переводъ соперничаютъ другъ съ другомъ, можетъ еще болѣе увеличить интересъ къ этому новому отдѣлу современной астрономіи“. *Русская мысль, іюнь 1905 г.*

„Проф. Арреніусъ, всемірно извѣстный творецъ теоріи электролитической диссоціаціи въ ея современномъ видѣ, является однимъ изъ остроумнѣйшихъ современныхъ физиковъ и астрофизиковъ. Его „Физика неба“ принадлежитъ къ лучшему, что имѣется въ области элементарныхъ сочиненій по физической астрономіи или какъ онъ выражается, „по космической физикѣ“. Почти всѣ научныя пріобрѣтенія послѣдняго времени приняты во вниманіе авторомъ и употребляются въ качествѣ объяснительныхъ принциповъ при разсмотрѣніи небесныхъ явленій“. *Вѣсы, мартъ 1905 г.*

СВАНТЕ АРРЕНІУСЪ.

Проф. высшей школы въ Стокгольмѣ.

ОБРАЗОВАНІЕ МІРОВЪ

Разрѣшенный авторомъ, переводъ съ нѣмецкаго

подъ редакціей ***К. Д. Покровскаго,*** *профессора Юрьевск. Университета.*

VIII+200 стр. съ 60 рисунками. Цѣна 1 р. 75 к.

Краткое содержаніе. Вулканическія явленія и землетрясенія—Небесныя тѣла и въ особенности земля, какъ мѣста обитанія живыхъ существъ—Лучеиспусканіе солнца и его строеніе—Лучевое давленіе—Солнечная пыль въ атмосферѣ земли; полярныя сіянія и измѣненія земного магнетизма—Гибель солнца. Возникновеніе туманностей—Состояніе туманностей и солнца—Распространеніе жизни въ міровомъ пространствѣ.

Изъ предисловія автора. „Когда я, около шести лѣтъ тому назадъ, былъ занятъ обработкой своего „Учебника Космической Физики“,*) я не могъ не чувствовать, какъ трудно съ точки зрѣнія господствующихъ теперь взглядовъ объяснить многія явленія, особенно тѣ, которыя находятся въ связи съ вопросами космогоническими. Но я понялъ, что давленіе свѣтовыхъ лучей, которое до сихъ поръ оставалось незамѣченнымъ, можетъ быть съ успѣхомъ примѣнено для уясненія значительной части тѣхъ явленій, которыя раньше съ трудомъ поддавались объясненію. Поэтому я примѣнилъ эту ранѣе пренебрегавшуюся силу природы въ своемъ учебникѣ въ широкомъ масштабѣ для объясненія названныхъ явленій... мои попытки объясненія... были встрѣчены научнымъ міромъ съ необычайнымъ интересомъ и весьма благосклонно. Это ободрило меня искать дальше объясненій наиболѣе важныхъ изъ многочисленныхъ загадокъ, которыя мы всюду встрѣчаемъ въ этой области....

Говорятъ, и не безъ основанія, что научные взгляды должны обсуждаться и быть признаны раньше въ кругу спеціалистовъ, и затѣмъ только предлагаться широкой публикѣ. Но нельзя отрицать, что, если бы подобное условіе исполнялось, то большая часть мыслей, которыя были высказаны по вопросамъ космогоническимъ, никогда не появились бы въ печати, и трудъ, потраченный на ихъ печатаніе, могъ бы найти себѣ лучшее примѣненіе. Семь лѣтъ, протекшія съ тѣхъ поръ, какъ я сообщилъ ученому міру первые опыты своихъ объясненій, благосклонный пріемъ, оказанный имъ, а также полная возможность, которую я имѣлъ въ теченіе этого времени, точно провѣрить и исправить мои объясненія—все это представляется мнѣ болѣе, чѣмъ достаточнымъ, для того, чтобы я имѣлъ право изложить свои взгляды широкому кругу читателей.

Проблема развитія міра, въ самомъ дѣлѣ, всегда возбуждала особенный интересъ въ мыслящей части человѣчества. Безъ сомнѣнія, она будетъ занимать самое главное мѣсто среди всѣхъ вопросовъ, которые не имѣютъ прямого практическаго значенія....

Руководящей идеей въ предлагаемой обработкѣ космологическихъ вопросовъ является взглядъ, что вселенная по существу своему была всегда такова, какъ и теперь. Матерія, энергія и жизнь мѣняли только форму и мѣсто въ пространствѣ“.

---

*) Переводъ первой части „Учебника Космической Физики“, которую имѣетъ въ виду главнымъ образомъ авторъ, былъ изданъ нами подъ названіемъ „Физика Неба“; (см. пред. стр.). ***Матезисъ.***

http://mathesis.ru

Проф. **С. НЬЮКОМЪ.**

АСТРОНОМІЯ ДЛЯ ВСѢХЪ

Переводъ съ англійск. съ предисловіемъ приватъ-доцента **А. Р. Орбинскаго.**
XXIV+286 стр. съ портр. автора, 64 рис. въ текстѣ и 1 отдѣльной таблицей. **Ц 1 р. 50 к.**
Допущено Уч. Ком. М. Н. Пр. въ учен. старш. возр. библіотеки средн. учебн. заведеній, а равно и въ безпл. народн. библіотеки и читальни.

СОДЕРЖАНІЕ. **I. Небесныя движенія. II. Астрономическіе инструменты. III. Солнце земля и луна. IV. Планеты и ихъ спутники. V. Кометы и метеоры. VI. Неподвижныя звѣзды'** Указатель.

Изъ отзывовъ. „Астрономія для всѣхъ"—одна изъ лучшихъ популярныхъ книгъ по астрономіи. Это въ одно и тоже время и вполнѣ научно, и совершенно доступно, и изящно написанная книга. Она можетъ служить пособіемъ для самообразованія и учебнымъ пособіемъ при прохожденіи курса космографіи.. Вездѣ даются самыя послѣднія свѣдѣнія, свѣжіе факты, но лишь одни строго провѣренные факты... Книга переведена и издана очень хорошо. Рекомендуемъ ее особому вниманію преподавателей и учащихся". Л. С. *Вѣстн. Восп.* Мартъ 1906 г.

„Рѣдко попадаются въ русской литературѣ столь удачныя популярныя руководства, какъ книжка Ньюкома, а еще рѣже попадаются такіе хорошіе переводы, какъ переводъ А. Р. Орбинскаго... изложеніе Ньюкома отличается большою „картинностью"... В. Лермантовъ. *Морской Сборникъ,* май 1906 г.

„...по ея доступности широкому кругу публики рецензентъ считаетъ „Астрономію для всѣхъ" лучшей книгой изъ существующихъ съ этой задачей курсовъ астрономіи на русскомъ языкѣ..." В. Стратоновъ.
Вѣстн. Опытн. Физ. и Элем. Мат. № 6 XXXV Сем. 1906 г.

„Книгоиздательство „Mathesis" успѣло заявить себя съ самой лучшей стороны, подбирая для изданія наиболѣе интересныя и выдающіяся книги; неудивительно поэтому, что „Астрономія для всѣхъ", представляющая строго научную и наиболѣе ясно изложенную теорію современной астрономіи, вышла въ этомъ изданіи.
Русская Мысль, сент. 1905 г.

„Авторъ обнимаетъ своимъ сочиненіемъ всѣ вопросы, которые составляютъ содержаніе описательной астрономіи... Вообще „Астрономія для всѣхъ" прекрасная книга, написанная очень интересно и совершенно на уровнѣ современной науки, чему гарантіей служитъ уже самое имя автора..." Д Ц. *Русская школа,* октябрь 1906.

„Желаемъ полнаго успѣха этой книгѣ—результату соединеннаго труда талантливѣйшаго автора, прекраснаго переводчика и добросовѣстнаго издателя".
Естествознаніе и Географія, мартъ 1906 г.

Проф. **Э ВИХЕРТЪ.**

ВВЕДЕНІЕ ВЪ ГЕОДЕЗІЮ.

Лекціи для преподавателей средн. учебн. заведеній.
Переводъ съ нѣмецкаго. 80 стр. съ 41 рисунк. **Цѣна 35 коп.**
Учен. Ком. М. Н. Пр. признана заслужив. вниманія при пополненіи ученич. библ. средн. уч. завед.

СОДЕРЖАНІЕ: *Предисловіе—Низшая геодезія.* О точкахъ и прямыхъ линіяхъ —Измѣреніе длинъ въ горизонтѣ—Измѣренія въ горизонтальной плоскости и въ прямоугольныхъ координатахъ — Введеніе различныхъ линій абсциссъ; ходовыя линіи—Изготовленіе наброска и ситуаціоннаго плана—Болѣе крупныя съемки; тріангуляція — Измѣренія въ полярныхъ координатахъ; тахиметрія — Мензульныя съемки—Неровности—Нивелированіе линій и поверхностей—Непрямыя измѣренія высотъ; одновременныя съемки въ горизонтѣ и высотѣ, фотограмметрія—*Прибавленія.* Высота надъ нормальнымъ нулемъ — Замѣчанія объ измѣреніи высотъ—Государственная съемка и измѣреніе земли—Литература—Списокъ приборовъ.

Изъ отзывовъ. „Эта книжка представляетъ главу изъ сборника лекцій для преподавателей средней школы „Ueber angewandte Mathematik u. Physik" въ Геттингенѣ, изданнаго профессорами Клейномъ и Рике. Авторъ излагаетъ основы низшей геодезіи, имѣя въ виду пользованіе ею въ школѣ въ качествѣ практическаго пособія при преподаваніи. По мнѣнію Вихерта, „въ средней школѣ геодезія достигнетъ полностью своей цѣли, когда къ ней будутъ обращаться при преподаваніи математики, физики и географіи, а также при ученическихъ экскурсіяхъ, когда при всякомъ удобномъ случаѣ будутъ приводиться примѣры и задачи изъ геодезіи и, наконецъ, когда нѣсколько часовъ, посвященныхъ теоретическому преподаванію математики въ классѣ, будутъ замѣнены практическими занятіями подъ открытымъ небомъ.

http://rutracker.org

Изложеніе очень сжато, но полно и послѣдовательно.... Издана книга очень хорошо". Д. Бизюкинъ. *Вопросы Физики.* Вып. I. 1908.

....Въ этихъ лекціяхъ авторъ изложилъ въ сжатомъ видѣ весь курсъ низшей геодезіи. Принимая во вниманіе составъ его аудиторіи, онъ ограничивался краткими объясненіями, а потому ему удалось втиснуть въ небольшой объемъ богатый матеріалъ. Преподаватель средней школы найдетъ въ книгѣ профессора Вихерта и описаніе геодезическихъ приборовъ и изложеніе всѣхъ пріемовъ, употребляемыхъ при съемкѣ мѣстности, а также при нивеллировкѣ, однимъ словомъ, все то, что ему нужно будетъ знать, если онъ пожелаетъ вести съ учениками практическія занятія по геодезіи.

Переведена книга вообще хорошо... К. Фохтъ. *Жур. Мин. Нар. Пр.*, февр. 1908.

Имѣется на складѣ:

Проф. **Ф. Р. МУЛЬТОНЪ.**

ЭВОЛЮЦІЯ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ.

Перев. съ англійск. IV+82 отр. Съ 12 рисунк. **Цѣна 50 к.**

СОДЕРЖАНІЕ: **Эволюція солнечной системы** — **Историческія свѣдѣнія** — Райтъ и Кантъ—Кольцевая теорія Лапласа—Приливная эволюція—Факты, подтверждающіе гипотезу Лапласа — Факты, противорѣчащіе гипотезѣ Лапласа — **Гипотеза спиральной туманности**—Гипотеза о предшествующихъ условіяхъ нашей солнечной системы—Возможное происхожденіе спиральныхъ туманностей—Развитіе солнечной системы изъ спиральной туманности.

Къ русскому переводу. „Эта небольшая книжка представляетъ переводъ одной главы книги проф. F. R. Multon, *Introduction to Astronomy* (Введеніе въ Астрономію), вышедшей въ 1906 г., и содержитъ изложенія одной изъ наиболѣе важныхъ и интересныхъ космогоническихъ гипотезъ, которыя вызвала на свѣтъ все болѣе выясняющаяся неудовлетворительность теоріи Лапласа. То обстоятельство, что мы получаемъ его изъ первыхъ рукъ, не можетъ не повышать его цѣнности—тѣмъ болѣе, что авторъ даже сложныя вещи умѣетъ представлять ясно и отчетливо"....

К. ШЕЙДЪ.

ХИМИЧЕСКІЕ ОПЫТЫ

ДЛЯ ЮНОШЕСТВА.

Переводъ съ нѣм. подъ ред. лаборанта Нов. Унив. **Е. С. Ельчанинова.**

192 стр. Съ 79 рисунк. Цѣна 1 р. 20 к.

***Учен. Ком. М. Н. Пр.** признана заслуживающей вниманія при пополненіи безплатн. народн. читаленъ и библіотекъ.*

Изъ предисловія автора. „Предлагаемые опыты расположены и выбраны прежде всего такъ, что они не требуютъ никакихъ предварительныхъ знаній. Съ переходомъ отъ легкаго къ трудному уже пріобрѣтенныя въ опытахъ знанія постоянно снова примѣняются къ дѣлу и становятся глубже. Самымъ тщательнымъ образомъ авторъ избѣгалъ всего, что можетъ дать экспериментирующему ложное представленіе о сущности химіи".

Изъ предисловія редактора русскаго изданія. „Трудъ проф. Шейда слѣдуетъ разсматривать не какъ учебникъ или спеціальное руководство, а лишь какъ пособіе для первоначальнаго ознакомленія съ весьма труднымъ предметомъ. Съ этой точки зрѣнія книга Шейда представляется весьма цѣнной и полезной. Несомнѣнно опытный и талантливый педагогъ, онъ сумѣлъ такъ подобрать и распредѣлить матеріалъ, что молодой химикъ безъ особеннаго труда, но съ большимъ интересомъ станетъ знакомиться съ химическими явленіями и пріучаться къ самостоятельному экспериментированію. Для дальнѣйшаго химическаго образованія такимъ образомъ закладывается солидный базисъ".

Изъ отзывовъ. „...Счастливое соединеніе учителя и химика въ лицѣ автора даетъ книгѣ свой отпечатокъ и дидактическую цѣнность. Авторъ не только старательно просѣиваетъ и распредѣляетъ матеріалъ, какъ опытный педагогъ, представляя его въ единственно подходящей для юношества формѣ—общедоступно, но и научно—но, какъ опытный химикъ, онъ владѣетъ искусствомъ экспериментированія, которое умѣетъ проникать въ тайны природы съ самыми простыми средствами, вмѣстѣ съ тѣмъ увлекая и убѣждая..." *Monatschrift für höhere Schulen*

„Эта маленькая книга составлена для указанной цѣли необыкновенно искусно. Она избѣгаетъ безполезнаго баловства и открываетъ молодому экспериментатору прежде всего наиболѣе важныя вещи обыденной жизни".

Beiblätter zu den Annalen der Physik.

---

http://rare.ss.ru

„Превосходная книга, какой намъ давно не хватало... Авторъ основательный знатокъ химіи и въ то же время въ совершенствѣ владѣетъ умѣньемъ обращаться методически съ столь неподатливымъ часто матеріаломъ. Всюду въ книгѣ сохраняешь благотворное чувство, что находишься въ совершенно надежныхъ рукахъ... Авторъ мастерски показываетъ, что могутъ разсказать эти „обыденныя" вещи, если понимать ихъ языкъ. Онъ учитъ не салонному фокусничеству, а серьезной наукѣ въ болѣе легкой формѣ. Мальчикъ, усвоившій всю книгу, узнаетъ не только массу химическихъ фактовъ и законовъ,—онъ ознакомится и съ источниками благосостоянія, съ жизнью и бытіемъ тѣлъ природы. Мы должны признаться, что намъ давно уже не попадала въ руки книга, которая бы разрѣшала свою задачу такъ искусно, основательно и увлекательно..."

Zeitschrift für Lehrmittelwesen und pâdagogische Literatur.

„...Новая книга, очень заслуживающая рекомендаціи... Опыты интересны, поучительны и выполнимы съ небольшими средствами... Прекрасная внѣшность позволяетъ рекомендовать книгу для подарковъ". *Literarische Beilage zur „Schulpfelge".*

Б. ШМИДЪ.

Философская хрестоматія

ПОСОБІЕ ДЛЯ СРЕДНИХЪ УЧЕБНЫХЪ ЗАВЕДЕНІЙ.

Пер. съ нѣм Ю. А. Говсѣева подъ ред. и съ предисл. проф. **Н. Н. Ланге.**

VI+172 страницы. Цѣна 1 руб.

Учен. Ком. М. Н. Пр. признана заслуживающей вниманія при пополненіи ученическихъ библіотекъ среднихъ учебныхъ заведеній.

СОДЕРЖАНІЕ. I. *А. Риль.* Сущность и развитіе философіи—*Б. Шмидъ.* Къ вопросу о развитіи философіи—*Б. Шмидъ.* О матеріализмѣ —*Ламетри.* Человѣкъ какъ машина—*Б. Шмидъ.* О происхожденіи современнаго матеріализма—*Эрнстъ Геккель.* Душа—*Эмиль Дюбуа-Реймондъ.* О границахъ познанія природы—*Б. Шмидъ* Объ идеализмѣ—*Рене Декартъ.* Размышленія объ основахъ философіи—*Д. Локкъ.* Нѣтъ врожденныхъ принциповъ въ душѣ—*Давидъ Юмъ.* Элементы нашихъ выводовъ о причинѣ —*И. Кантъ.* Предварительное замѣчаніе объ особенности всякаго метафизическаго познанія—*И. Кантъ.* О пространствѣ—*И. Кантъ.* О времени—*Людвигъ Буссе.* Безусловный скептицизмъ—*Ф. Паульсенъ.* Проблема сущности, или отношеніе познанія къ дѣйствительности.

II. *А. Пуанкаре.* Гипотезы въ физикѣ—*I. Сталло.* Основныя начала механическаго міровоззрѣнія—*В. Оствальдъ.* Сохраніе энергіи—*А. Пуанкаре.* Границы принципа энергіи—*Б. Шмидъ.* О понятіи силы—*М. Ферворнъ.* Витализмъ—*Ч. Дарвинъ.* Борьба за существованіе—*О Либманъ.* Логика фактовъ, или причинность и временная послѣдовательность—*Б. Шмидъ.* О развитіи понятій субстанціи и причинности—*В. Вундъ.* Причинность въ волѣ—*Х. Зигвартъ.* Законъ логическаго основанія—*Б. Шмидъ.* Понятіе цѣли.

III. **Изъ отдѣльныхъ философскихъ дисциплинъ.** Психологія и логика. *Г. Вилла.* Положенія психологіи въ системѣ наукъ. Отношеніе къ другимъ наукамъ—*Г. Вилла.* О сознаніи—*В. Вундтъ.* Принципъ психофизическаго параллелизма—*Г. Пауль.* Психологическое и грамматическое подлежащее—*Дж. С. Милль.* Отношеніе логики къ другимъ наукамъ—*Х. Зигвартъ.* Понятіе о числѣ—*П. Фолькманъ.* Индукція и дедукція.

Этика и эстетика. *Г. Геффдингъ.* Основныя предложенія этики—*Фр. Паульсенъ.* Проблемы этики—*Фр. Ратцель.* Красота въ природѣ—*Фр. Ратцель.* Элементы красоты въ природѣ—*I. Фолькельтъ.* Искусство, какъ творчество второго міра—*О. Либманъ.* Эстетическій идеалъ.

Изъ отзывовъ. „Цѣль настоящей книги—дать возможность „молодымъ людямъ, изучающимъ въ послѣднихъ классахъ гимназіи философскую пропедевтику", ознакомиться въ подлинникѣ хотя бы съ отрывками сочиненій виднѣйшихъ представителей философской мысли, ибо, какъ ни желательно, но почти невозможно чтеніе этихъ сочиненій цѣлостью широкому кругу. Съ другой же стороны, какъ говоритъ редакторъ русскаго перевода проф. Ланге, „никакое изложеніе второй руки не можетъ замѣнить подлиннаго философскаго творенія такъ же, какъ описаніе содержанія художественной поэмы не замѣнитъ послѣдней".

Цѣль эта достигнута составителемъ очень удачно. Онъ умѣло соединилъ всѣ приводимые имъ отрывки сочиненій представителей различнаго философскаго мышленія въ одну плавную, правильную систему. „Для возбужденія критической мысли", говоритъ Н. Н. Ланге: „составитель сопоставилъ взгляды мыслителей противоположнаго направленія"... читается книга легко. Переводъ очень хорошій и изданъ изящно". Д. Бизюкинъ. *Вопросы Физики,* Выпускъ I, 1908 г.

---

http://mathesis.ru

„Необходимость изученія философскихъ произведеній по первоисточникамъ врядъ ли нуждается въ доказательствахъ: слишкомъ очевидно, что никакія изложенія не могутъ замѣнить подлинныхъ сочиненій Платона, Августина, Канта, Гегеля и др. Великіе умы дѣйствуютъ на насъ не только содержаніемъ своихъ системъ, но и формой ихъ, не только, такъ сказать, основнымъ тономъ своей философіи, но и обертонами ея.... достоинства книги: аккуратное и тщательное отношеніе составителя къ дѣлу, сказавшееся въ бережномъ отношеніи къ приведеннымъ отрывкамъ, разнообразіе статей и современность ихъ. Философомъ эта хрестоматія не сдѣлаетъ... но для человѣка, занятаго самообразованіемъ и немного знакомаго съ философіей и наукой, она даетъ разнообразный и интересный матеріалъ.

Русскій переводъ, въ общемъ, удовлетворителенъ и литературенъ..." П. Блонскій. *Вопросы Философіи и Психологіи,* Ноябрь-дек. 1907 г.

„...Отрывки по объему небольшіе и выбраны, въ общемъ, довольно удачно... во всякомъ случаѣ слѣдуетъ признать, что эта книжка можетъ быть полезна для учащихся при первомъ знакомствѣ съ философскими проблемами, а потому на нее слѣдуетъ обратить свое вниманіе преподавателей философской пропедевтики въ мужскихъ гимназіяхъ и педагогики (такъ называемой) въ женскихъ".

Педагогическій сборникъ, февраль, 1908 г. П. Каптеревъ

Н. Г. УШИНСКІЙ. Проф. Имп. Нов. Универс.

Лекціи по бактеріологіи.

Второе исправленное и дополненное изданіе.

VIII+135 стр. съ 34 рисунк. на 15 отдѣльныхъ цвѣтныхъ и черн. таблицахъ.

Цѣна 1 руб. 50 коп.

Краткое содержаніе: Предисловія — Сибиреязвенный бациллъ — Дифтеритный бациллъ — Бациллъ столбняка — Иммунитетъ и серотерапія — Холерный вибріонъ — Бактерія чумы — Туберкулезъ — Брюшной тифъ — Кишечная палочка — Гонорея — Стафилококкъ — Стрептококкъ — Менингококъ — Пневмококкъ — Bacterium influenzae — Малярія — Руководства, пособія и источники.

Изъ предисловія къ II-му изданію. „Со времени выхода перваго изданія моихъ лекцій по бактеріологіи я не измѣнилъ своихъ воззрѣній на строй и смыслъ университетскаго преподаванія. Потому и при второмъ изданіи лекцій я стремлюсь къ тому, чтобы дать учащимся по возможности краткую и дешевую книжку, не заключающую въ себѣ полнаго обозрѣнія всего имѣющагося по бактеріологіи матеріала, а содержащую лишь то, знаніе чего наиболѣе необходимо въ повседневной жизни, или что можетъ способствовать выясненію хода и направленія идей, господствующихъ въ наукѣ въ настоящее время...".

Изъ предисловія къ I-му изданію. „Главная задача лекціоннаго способа университетскаго преподаванія состоитъ въ томъ, чтобы ввести слушателей въ кругъ идей, господствующихъ въ наукѣ въ данное время, и дать опорныя точки для *сознательнаго* изученія предмета. Представляя весьма важное подспорье при этомъ изученіи, лекціи, уже по самому существу своему, не могутъ, да и не должны давать мелкихъ подробностей; въ нихъ должны быть сосредоточены лишь основные факты и лишь то, что иллюстрируетъ основную идею науки, способствуетъ развитію той или другой мысли или точки зрѣнія, проводимой лекторомъ; онѣ должны давать твердую основу для пониманія духа науки, систематизаціи ея, и тѣмъ облегчать ея усвоеніе; онѣ не должны быть изложены въ формѣ непреложныхъ положеній и истинъ, ибо таковыхъ за малыми исключеніями нѣтъ въ наукѣ. Поэтому лекціи отнюдь не должны носить чисто дидактическаго характера....

Въ лекціяхъ бактеріологіи я не стремлюсь непремѣнно успѣть описать по возможности всѣ виды патогенныхъ микроорганизмовъ, а стараюсь въ возможно полной.... формѣ выяснить основныя положенія современной бактеріологіи, причины необыкновенно сильнаго развитія этой отрасли науки и ея успѣховъ, и начертить путь, по которому идетъ и развивается она.

Наибольшее вниманіе отдается вопросамъ патолого-физіологическимъ, какъ наиболѣе интереснымъ, поучительнымъ и важнымъ.... Наиболѣе мѣста въ курсѣ отводится выясненію вопросовъ объ иммунитетѣ и серотерапіи. Отдѣльные виды микробовъ въ началѣ берутся лишь какъ конкретные примѣры для выясненія основныхъ трудныхъ вопросовъ иммунитета....".

---

http://matesis.ru

СОФУСЪ ТРОМГОЛЬТЪ.

ИГРЫ СО СПИЧКАМИ

ЗАДАЧИ и РАЗВЛЕЧЕНІЯ.

Переводъ съ нѣмецкаго 146 стр. свыше 250 черт. и рис. Цѣна 50 коп.

„Игры со спичками“ С. Тромгольта представляютъ собраніе задачъ и развлеченій при помощи обыкновенныхъ спичекъ. Не являясь книгой популярно-научнаго характера, „Игры со спичками“ даютъ, однако, въ своихъ задачахъ, составленныхъ въ высшей степени остроумно и оригинально, столько матеріала для геометрическихъ и ариѳметическихъ соображеній, что книгоиздательство „Матезисъ“ нашло появленіе этой книги въ ряду своихъ изданій весьма желательнымъ; издательство увѣрено, что книга эта можетъ заитересовать не только учащихся, на которыхъ она главнымъ образомъ разсчитана, но и взрослаго.

ПЕЧАТАЮТСЯ и ГОТОВЯТСЯ къ ПЕЧАТИ.

Прив.-доц. **Б. П. ВЕЙНБЕРГЪ**

СНѢГЪ, ИНЕЙ, ГРАДЪ, ЛЕДЪ и ЛЕДНИКИ.

Со многими рисунками.

СОДЕРЖАНІЕ. Вода въ твердомъ состояніи въ природѣ—Переходъ тѣлъ изъ одного состоянія въ другое—Вліяніе давленія на температуры кипѣнія и давленія—Тройная точка—Неустойчивое состояніе вещества—Пересыщенный водяной паръ; образованіе тумана—Туманъ, дождь, роса.

Непосредственный переходъ паровъ воды въ твердое состояніе—Снѣгъ и ограниченность нашихъ свѣдѣній о немъ. Кристаллографическая форма снѣжинокъ—Размѣры снѣжинокъ—Иней и изморозь—Законы паденія снѣжинокъ—Попытка объясненія генезиса различныхъ формъ снѣжинокъ—Оптическія явленія въ атмосферѣ, вызываемыя присутствіемъ въ ней кристалловъ снѣга.

Ледяной дождь—Градъ—Гипотезы о происхожденіи града—Искусственныя градины—Переходъ жидкой воды въ твердое состояніе—Кристаллизація переохлажденной воды; искусственныя снѣжинки—Рѣчной ледъ—Цвѣты Тиндалля—Донный ледъ—Практическое значеніе изученія доннаго льда—Сосульки, пещерный ледъ, искусственный ледъ—Ледниковый ледъ—Явленіе смерзанія (режеляціи)—Скользкость льда.

Роль силы тяжести по отношенію къ снѣгу—Текучесть твердыхъ тѣлъ вообще и льда, въ частности—Наледи (накипни)—Вопросъ о причинахъ пластичности льда—Коэффиціентъ внутренняго тренія льда и его значеніе—Теченіе льда въ ледникахъ—Область питанія ледника и область таянія и связь между ними—Фирнъ, слоистость его и полосчатость ледниковаго льда—Линіи тока въ ледникѣ—„Теорія теченія“ Финстервальдера—Ледопады, сліяніе ледниковъ, образованіе моренъ съ точки зрѣнія теоріи Финстервальдера—Попытка физической теоріи движенія льда въ ледникахъ—Ледниковый покровъ полярныхъ странъ—Айсберги—Отступаніе и наступаніе ледниковъ—Ледниковые періоды въ жизни земного шара—Ледниковыя катастрофы.

Д-ръ **ГЕРГАРДЪ КОВАЛЕВСКІЙ.**

проф. математики боннскаго университета.

ВВЕДЕНІЕ ВЪ ИСЧИСЛЕНІЕ БЕЗКОНЕЧНО МАЛЫХЪ

съ приложеніемъ историческаго очерка.

Перев. съ нѣмецк. подъ редакціей и съ примѣчан. прив-доц. **С. О. Шатуновскаго.**

СОДЕРЖАНІЕ. Гл. I. Функціи, предѣлы, ряды. Гл. II. Дифферціальное исчисленіе. Гл. III. Интегральное исчисленіе.—Историческій очеркъ.

Предисловіе автора. „Въ этой книжкѣ излагаются основныя понятія и главныя предложенія анализа приблизительно въ томъ видѣ, въ какомъ этого требуютъ современныя научныя воззрѣнія. Пытаясь сдѣлать изложеніе возможно точнымъ, авторъ все же старался не запугать читателя слишкомъ большими трудностями предмета. Совершенно строгое обоснованіе анализа безконечно малыхъ возможно лишь послѣ яснаго установленія понятія о числѣ, что слишкомъ расширило бы рамки этой работы. Вотъ почему отъ этого пришлось отказаться.

http://rahis.ru

Авторъ надѣется, что всякій образованный человѣкъ будетъ въ состояніи вынести изъ этой маленькой книжки понятіе о сущности анализа и что она окажется особенно полезной для студентовъ-математиковъ". Боннъ. Сентябрь 1907 г.

Л. КУТЮРА.

АЛГЕБРА ЛОГИКИ.

Перев. съ франц. подъ редакціей и съ примѣчаніями и введеніемъ проф. **И. В. Слешинскаго.**

Изъ заключенія автора. „Предыдущее изложеніе... имѣетъ цѣлью лишь познакомить съ основаніями и элементарными теоріями этой науки. Алгебра логики есть алгоритмъ, имѣющій свои законы; она нѣкоторыми своими сторонами очень сходна съ обыкновенной алгеброй, но другими очень различна: она игнорируетъ, напримѣръ, различія степеней; законы тавтологіи и поглощенія вводятъ большія упрощенія въ нее и устраняютъ численные коэффиціенты. Это—формальное исчисленіе, дающее мѣсто всякаго рода теоріямъ и задачамъ и способное развиваться почти безпредѣльно.

Но въ то же время это—замкнутая система, и можно показать, что она далеко не обнимаетъ всей логики. Это, собственно говоря, алгебра классической логики; какъ эта послѣдняя, она остается заключенной въ области, установленной Аристотелемъ, т. е. въ области отношеній включенія понятій и отношеній вывода предложеній. Правда, классическая логика (если даже отвлечься отъ ошибокъ и многословія) была гораздо уже, чѣмъ алгебра логики; она почти совершенно замыкалась въ теоріи силлогизма, границы котораго кажутся теперь болѣе тѣсными и болѣе искусственными. Тѣмъ не менѣе, алгебра логики разсматриваетъ, хотя значительно полнѣе и общѣе, задачи того-же порядка; она, въ сущности, ничто иное, какъ теорія многообразій, разсматриваемыхъ въ ихъ отношеніяхъ включенія и тождества... Алгебра логики отличается отъ чистой логики, какъ особенная математическая теорія, потому что она основана на принципахъ, которые мы постулировали неявно, которые не способны выражаться алгебраически или символически, потому что они служатъ основаніемъ всякаго символизма и всякаго исчисленія Можно поэтому сказать, что алгебра логики есть математическая логика, по своей формѣ и по своему методу; но не слѣдуетъ принимать ее за логику математики".

Проф. Ф. КЭДЖОРИ.

ИСТОРІЯ ЭЛЕМЕНТАРНОЙ МАТЕМАТИКИ.

Съ нѣкоторыми указаніями для преподавателя.

Переводъ съ англ. подъ ред. и съ примѣч. прив.-доц. *И. Ю. Тимченко.*

СОДЕРЖАНІЕ. **ДРЕВНОСТЬ: Системы счисленія и числовые знаки—Ариѳметика и алгебра:** *Египетъ, Греція, Римъ*—**Геометрія и тригонометрія:** *Египетъ и Вавилонія, Греція, Римъ.* **СРЕДНІЕ ВѢКА: Ариѳметика и алгебра:** *Индусы, Арабы, Европа въ средніе вѣка*—**Геометрія и тригонометрія:** *Индусы. Арабы, Европа въ средніе вѣка.* **СОВРЕМЕННАЯ ЭПОХА: Ариѳметика:** *Ея развитіе, какъ науки и искусства, Англійскіе мѣры и вѣса, Развитіе коммерческой школы въ Англіи, Причины задержки развитія ариѳметики въ Англіи, Реформы въ обученіи ариѳметики, Ариѳметика въ Соединенныхъ Штатахъ, „Занимательныя и интересныя задачи"*—**Алгебра:** *Возрожденіе, Послѣдніе три вѣка*—**Геометрія и тригонометрія:** *Изданія Евклида. Первыя изслѣдованія, Начало современной синтетической геометріи, Современная элементарная геометрія.*

Изъ предисловія автора: „Способы и порядокъ воспитанія ребенка должны согласоваться съ историческимъ ходомъ воспитанія человѣчества; другими словами, развитіе знаній у отдѣльной личности должно слѣдовать по тому же пути, по которому развивались знанія у народа. Кажется, мы обязаны Канту формулировкой этого ученія — ученія, которое мы можемъ принять, не связывая себя его теоріей происхожденія знаній ни относительно причинъ, ни относительно порядка" (Герберть Спенсеръ). Если этотъ принципъ, котораго держались также Песталоцци и Фребель, вѣренъ, то, кажется, знаніе исторіи предмета должно оказывать существенную помощь изученію этого предмета. И вѣрно ли это ученіе или невѣрно, но опытъ многихъ учителей подтверждаетъ важность исторіи математики при обученіи. Надѣясь помочь товарищамъ-учителямъ, я и составлялъ эту книгу, вставляя иногда въ свое повѣствованіе замѣчанія и указанія на пріемы преподаванія. Не подлежитъ сомнѣнію, что вдумчивый читатель самъ извлечетъ полезныя указанія, не приведенныя непосредственно въ текстѣ, изъ изученія исторіи математики".

---

http://mathesis.ru

N. Weber и *J. Wellstein*

ПРОФ. УНИВ. ВЪ СТРАСБУРГѢ. ПРОФ. УНИВ. ВЪ ГИССЕНѢ.

ЭНЦИКЛОПЕДІЯ
ЭЛЕМЕНТАРНОЙ МАТЕМАТИКИ

Руководство для преподающихъ и изучающихъ элементарную математику.

Томъ II. ЭЛЕМЕНТАРНАЯ ГЕОМЕТРІЯ

Составленная Веберомъ, Вельштейномъ и Якобсталемъ.

Переводъ съ нѣмецк подъ редакціей и съ примѣч. прив.-доц. **В. Ф. Кагана.**

СОДЕРЖАНІЕ **Первая книга.** (проф. Вельштейна): Введеніе—Критика основныхъ понятій—Естественная геометрія, какъ одна изъ безчисленныхъ формъ геометріи, построенной на чистыхъ понятіяхъ (литанометріи)—Обоснованіе проективной геометріи — Планиметрія. **Вторая книга**: Плоская тригонометрія и полигонометрія (проф. Вебера) — Сферика и сферическая тригонометрія (В. Якобсталя) **Третья книга** (проф. Вебера): Аналитическая геометрія на плоскости—Точки, плоскости и прямая въ пространствѣ—Объемы и поверхности—Группы вращеній и правильныя тѣла — Аналитическая геометрія пространства—Дополненіе къ основамъ геометріи.

Каждая изъ упомянутыхъ трехъ книгъ выйдетъ отдѣльнымъ выпускомъ.

Изъ предисловія проф. Вельштейна. „Второй томъ Энциклопедіи элементарной математики посвященъ исключительно геометріи... и распадается на три книги. Первая книга содержитъ основы геометріи,—ту трудную промежуточную область, которая требуетъ, кромѣ математическаго пониманія, еще и философскаго... Ничто не можетъ такъ поднять внутренне учителя и исполнить его значеніемъ важности его призванія, какъ ясное сознаніе того, что обоснованіе геометріи представляетъ почти непреодолимо трудную задачу, надъ рѣшеніемъ которой онъ долженъ биться всю свою жизнь, стараясь постоянно согласовать требованія строгой логики съ еще только развивающейся способностью пониманія у ученика, научную строгость съ наивнымъ воззрѣніемъ... Вторая книга даетъ плоскую и сферическую тригонометрію... Въ третьей книгѣ, отведенной аналитической геометріи и стереометріи, содержится ученіе о коническихъ сѣченіяхъ съ аналитической стороны“.

Къ русскому изданію. Эта книга не содержитъ систематическаго изложенія элементарной геометріи, какое мы встрѣчаемъ въ обыкновенныхъ учебникахъ геометріи. Авторы старались въ возможно ясномъ и доступномъ изложеніи освѣтить тѣ идеи, которыя лежатъ въ основѣ элементарной геометріи. Ученіе объ основаніяхъ геометріи, какъ вопросъ, стоящій на рубежѣ между геометріей и философіей, всегда сосредоточивало на себѣ вниманіе всѣхъ выдающихся геометровъ. Въ послѣднія же 25 лѣтъ этому отдѣлу знанія былъ посвященъ рядъ глубокихъ изслѣдованій, проливщихъ яркій свѣтъ на вопросы о синтетическомъ построеніи геометріи.

Читатель найдетъ въ этой книгѣ обстоятельное изложеніе всѣхъ этихъ изслѣдованій. Но и фактической части удѣлено здѣсь достаточно мѣста. Къ этому присоединяется краткое, но строго-научное изложеніе основъ проективной геометріи, система прямолинейной и сферической тригонометріи, и полигонометріи, и наконецъ, мастерски изложенный очеркъ аналитической геометріи.

Изложеніе отличается доступностью и часто значительно легче первой части энциклопедіи.

СУНДАРА РОУ.

Геометрическія упражненія съ кускомъ бумаги.

Съ 87 рисунками. Пер. съ анлійскаго.

Изъ введенія автора. „На мысль о составленій этой книги меня навело упражненіе *No*.8 Фребелевскаго дѣтскаго сада—складываніе бумаги... Эти упражненія не требуютъ чертежныхъ инструментовъ и единственное, что нужно, это—перочинный ножъ и куски бумаги... Я не пытался писать полное руководство или учебникъ геометріи, а пытался лишь показать, какъ можно получать складываніемъ бумаги правильные многоугольники, круги и другія кривыя... Я старался не только помочь изученію геометріи въ школахъ, но и дать математическое разъясненіе малому и старому, въ привлекательной и доступной формѣ...“

СОДЕРЖАНІЕ: Введеніе—Квадратъ — Равносторонній треугольникъ—Ква-

http://matesis.info

драты и прямоугольники—Пятиугольникъ—Шестиугольникъ—Восьмиугольникъ—Девятиугольникъ—Десяти и двѣнадцатиугольникъ—Пятнадцатиугольникъ—Ряды—Многоугольники—Общія начала—Коническія сѣченія—Смѣшанныя кривыя.

ТОМПСОНЪ, Сильванусъ.

ПРОИЗВОДСТВО СВѢТА.

Общедоступная лекція, прочитанная на собраніи Британской Ассоціаціи для Преуспѣянія Наукъ.

Съ 28 рисунками. Переводъ съ англійскаго.

Общепонятное изложеніе современнаго состоянія вопроса объ искусственномъ освѣщеніи, видовъ на дальнѣйшее развитіе его, стоимость и пр.

СОДЕРЖАНІЕ: Первобытные источники свѣта—Изобрѣтеніе газоваго освѣщенія—Изобрѣтеніе электрическаго освѣщенія—Накаленность вообще—Накаленность твердыхъ частицъ—Накаленность отъ электричества — Свѣченіе — Свѣтовая полезность — Фотометрія — Фотометръ — Неравномѣрность распредѣленія свѣта различными источниками — Неоднородность свѣта — Чему учитъ спектръ — Спектры раскаленныхъ твердыхъ тѣлъ и паровъ — Чувствительность глаза къ лучамъ разныхъ цвѣтовъ — Поглощеніе и испусканіе — Измѣреніе лучеиспусканія — Неэкономичность обычныхъ источниковъ свѣта—Свѣтъ свѣтляка—Температура и качество излученія — Испускательная способность рѣдкихъ земель — Газокалильное освѣщеніе — Изслѣдованія Рубенса--Газокалильное освѣщеніе высокаго давленія — Свѣтовая полезность лампъ накеливанія. Новые виды лампъ накаливанія — Новыя дуговыя лампы—Магнетитовая дуговая лампа—Электрическая лампа съ ртутными парами—Сравненіе электрическихъ лампъ—Стоимость производства свѣта—Самое дешевое освѣщеніе—Будущій прогрессъ—Радіевая лампа—Солнечный свѣтъ въ концѣ концовъ.

Проф. **А. АДЛЕРЪ.**

Теорія геометрическихъ построеній.

Пер. съ нѣмецк. подъ ред. прив.-доц. **С. О. Шатуновскаго.**

СОДЕРЖАНІЕ. Введеніе. Историческій обзоръ.—I. Методы рѣшенія геометрическихъ задачъ на построеніе.—II Построенія, выполняемыя съ помощью проведенія однѣхъ лишь прямыхъ линій при пользованіи данными фигурами. (Штейнеровскія построенія).—III. Построенія, выполняемыя съ помощью описыванія окружностей. (Маскероніевы построенія).—IV. Построенія съ помощью линейки о двухъ параллельныхъ краяхъ (двѣ параллельныя прямыя на постоянномъ разстояніи); построенія съ помощью подвижного прямого угла; построенія съ помощью произвольнаго подвижного угла; построенія съ помощью линейки и единицы длины; построенія съ помощью биссектора.—V. Задачи на построеніе первой и второй степени.—VI. Доказательства невозможности.—VII. Дѣленіе окружности. (Построеніе правильныхъ многоугольниковъ).—VIII. Геометрическія построенія третьей и четвертой степени.—IX. Историческія замѣчанія относительно квадратуры круга; приближенное выпрямленіе окружности; правила для возможно болѣе точнаго построенія.—X. Геометрографія.

Изъ предисловія автора. „Появленіе настоящей книги вызвано желаніемъ представить въ связномъ изложеніи и съ нѣкоторой полнотой интересные и особенно увлекательные для начинающаго методы и теоріи рѣшенія геометрическихъ задачъ на построеніе. При этомъ не предполагается никакихъ болѣе или менѣе подробныхъ свѣдѣній изъ высшей математики; всѣ необходимыя вспомогательныя теоремы будутъ приведены; доказательство ихъ, впрочемъ, часто будетъ лишь намѣчаться, такъ что свѣдущій читатель не утомится, а начинающій будетъ побуждаемъ доказать эти простыя предложенія.

Для того, чтобы книга удовлетворяла своему назначенію—быть учебникомъ, она снабжена многочисленными задачами для упражненія, рѣшеніе которыхъ по большей части вкратцѣ указывается. Часть учебнаго матеріала разбита по задачамъ, такъ что читатель, несмотря на умѣренный объемъ книги, будетъ освѣдомленъ во всѣхъ чисто геометрическихъ вопросахъ, относящихся къ геометрическимъ построеніямъ“..

---

http://mathesis.ru

Вѣстникъ Опытной Физики и Элементарной Математики

выходитъ 24 раза въ годъ отдѣльными выпусками не менѣе 24-хъ стр. каждый

подъ редакціей приватъ-доцента В. Ф. Кагана.

ПРОГРАММА ЖУРНАЛА: Оригинальныя и переводныя статьи изъ области физики и элементарной математики. Статьи, посвященныя вопросамъ преподаванія математики и физики. Опыты и приборы. Научная хроника. Разныя извѣстія. Математическія мелочи. Темы для сотрудниковъ. Задачи для рѣшенія. Рѣшенія предложенныхъ задачъ съ фамиліями рѣшившихъ. Упражненія для учениковъ. Задачи на премію. Библіографическій отдѣлъ: обзоръ спеціальныхъ журналовъ; замѣтки о новыхъ книгахъ.

Статьи составляются настолько популярно, насколько это возможно безъ ущерба для научной стороны дѣла.

Предыдущіе семестры были **рекомендованы**: Учен. Ком. Мин. Нар. Пр. для гимн. муж. и жен., реальн. уч., прогимн., город. уч., учит. инст. и семинарій; Главн. Управл. Воен.-Учебн. Зав.—для воен.-уч. заведеній; Уч. Ком. при Св. Синодѣ для дух. семин. и училищъ.

Пробный номеръ высылается БЕЗПЛАТНО по первому требованію.

Важнѣйшія статьи, помѣщенныя въ 1907 г.

Проф. Мультонъ. Эволюція солнечной системы.—Н. Агрономовъ. Задача Мальфатти.—Прив.-доц. В. Каганъ. Ученіе о непрерывности.—Проф. В. Оствальдъ. Къ современной энергетикѣ.—Проф. Рамзай. Эманація радія.—Прив.-доц. В. Каганъ. Задача объ измѣреніи.—Проф. В. Оствальдъ: Преобразованіе элементовъ.—Жизнь и дѣятельность Леонарда Эйлера.—Проф. Дж. Кастельнуово. Дидактическое значеніе математики и физики.—Г. Андро. Къ системѣ Коперника.—А. Кириловъ. Къ геометріи треугольника.—Проф. А. Клоссовскій. Температура и давленіе въ болѣе высокихъ слояхъ атмосферы.—Проф. А. Риги. Атомныя измѣненія въ родіактивныхъ тѣлахъ.—Проф. Г. Гейбергъ. Новое сочиненіе Архимеда.—Д. Ефремовъ. О четырехугольникахъ.—Лордъ Кельвинъ.—Проф. А. Риги. Объ электрической природѣ матеріи.—А. Турчаниновъ. Къ великой теоремѣ Фермата.—Проф. Фёпль. Задача о падающей кошкѣ.—Проф. О. Леманъ. Жидкіе кристаллы и теоріи жизни.—Проф. Пеши. Задача изъ теоріи соединеній, поставленная лордомъ Кельвиномъ.

УСЛОВІЯ ПОДПИСКИ:

Подписная цѣна съ пересылкой за годъ **6 руб.,** за полгода **3 руб.** Учителя и учительницы низшихъ училищъ и всѣ учащіеся, выписывающіе журналъ **непосредственно изъ конторы редакціи,** платятъ за годъ **4 руб.,** за полугодіе **2 руб.** Допускается разсрочка подписной платы по соглашенію съ конторой редакціи.

Отдѣльные номера текущаго семестра по 30 к., прошлыхъ семест. по 25 к.

Адресъ для корресп.: **Одесса. Въ редакцію „Вѣстника Опытной Физики“.**

http://mathesis.ru