

М. ФАРАДЕЙ

СИЛЫ МАТЕРИИ
И
ИХ ВЗАИМООТНОШЕНИЯ

*С вступительной статьей
и примечаниями
З. ЦЕЙТЛИНА*



ГОСУДАРСТВЕННОЕ АНТИРЕЛИГИОЗНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА—1940

ПРОВЕРКА
ИЮНЬ 1949

Государственная
НАУЧНАЯ
БИБЛИОТЕКА
Наркомута

797 / 13
41

Настоящее издание представляет собой пере-
работку выпущенного в 1865 г. В. Лугининым
перевода под неточным названием «Силы при-
роды и их взаимоотношения».

Текст сверен с английским оригиналом, вы-
шедшим в 1861 г. третьим изданием под редак-
цией известного физико-химика Вильяма Крукса.
Большинство примечаний написано З. А. Цейт-
линым, некоторые, принадлежащие Круксу, от-
мечены буквой К.

Книга посвящена закону сохранения и пре-
ращения энергии. Рассчитана на широкого чита-
теля и может быть использована преподавателя-
ми средней школы и лекторами на научно-попу-
лярные и антирелигиозные темы.

МИХАИЛ ФАРАДЕЙ

(Краткий биографический очерк)

Вторая половина XVIII в. и первая половина XIX в.
ознаменовались в экономической истории Западной Европы
промышленной революцией, сущность которой характери-
зуется переворотом в промышленной технике и переходом
к промышленному капитализму.

Еще в период XVII—XVIII вв. ослабление цехов, уси-
ление торгового капитала и рост массового кустарного
производства, работающего на вывоз, появление первых
крупных капиталистических предприятий — мануфактур —
все это вместе взятое обусловило возникновение обширно-
го рынка и широкое применение машин. В этих условиях
(массового производства) стремление к снижению издержек
производства содействовало появлению новых изобре-
щений. Последние же нуждались в научном прогрессе и,
естественно, стимулировали его.

Первой вступила на путь промышленной революции Анг-
лия. Среди других стран Западной Европы она была са-
мой экономически развитой страной, благодаря чему все
характерные особенности буржуазной революции получили

С. 10

С. 10

в ней наиболее полное и четкое выражение. Неудивительно поэтому, что Англия явилась родиной гениального ученого, открытия которого легли в основу величайших технических достижений. Этим ученым был Фарадей.

Михаил Фарадей родился 22 сентября 1791 г. в окрестностях Лондона, в семье кузнеца. Родители Фарадея, как и он сам, принадлежали к небольшой религиозной секте, возникшей в Шотландии в 1728 г. Представители этой секты назывались сначала глэсситами, по имени ее основателя Джона Глэсса, а затем стали называться зандемановцами, по имени Роберта Зандемана.

Фарадей при случае не скрывал своей религиозности, но, как это нередко бывает среди ученых, не порвавших с религией, его религиозное мировоззрение находилось в резком противоречии с его научной деятельностью. Биограф Фарадея — Вильгельм Оствальд — справедливо замечает, что своих религиозных воззрений Фарадей абсолютно не вносил в область научного исследования.

Сам Фарадей в одном из своих писем говорит: «Хотя в природе творения бога никогда не могут находиться в противоречии с высшими предметами, относящимися к нашей будущей жизни, и хотя эти творения должны служить подобно всему другому для его возвеличения и восхваления, — я все же не нахожу нужным сочетать изучение естественных наук с религией и всегда считал религию и науку вещами совершенно различными».

Отец Фарадея Джемс отдал своих сыновей Михаила и старшего Роберта в начальную школу. Но уже девяти лет из-за столкновения с учительницей, пожелавшей наказать маленького Фарадея розгами, мальчика пришлось забрать из школы и на этом покончить с его официальным обучением. В школе Фарадей научился лишь чтению, письму и начаткам счета.

Жить семье кузнеца Фарадея становилось все труднее. Был 1801 год, когда Наполеон I сколотил против Англии известный континентальный блок. Рабочее население Англии терпело особенно сильную нужду. Материальная стесненность семьи Фарадеев заставила отдать старшего брата Фарадея в ученики к кузнецу, а Михаила, по настоянию матери, не трогали до 13 лет. Михаил в детстве обладал слабым здоровьем, и отец определил его в книжную лавку француза Жоржа Рибо рассыльным. В обязанности мальчика входила разноска газет подписчикам. В те времена

газет было мало, и стоили они дорого. Многие подписчики платили только за прочтение газеты, и маленькому Фарадею приходилось часто часами простаивать у подъездов, ожидая возврата газеты.

Фарадей рассказывал, что в часы таких ожиданий он никогда не скучал, а всегда обдумывал различные вопросы, которые он сам себе задавал. Пытливость и любознательность мальчика заставляли искать ответов в книгах, и Фарадей рано пристрастился к чтению.

По воскресеньям в лавке француза Рибо устраивалось нечто вроде клуба. Здесь прочитывались громко газеты, хозяин показывал покупателям книжные новинки, тут же обсуждались различные новости.

Михаил проработал рассыльным год, после чего отец Фарадея заключил с торговцем Рибо контракт, по которому Михаил был отдан в ученики на 7 лет. Рибо обязался выучить мальчика переплетному делу и торговле писчебумажными принадлежностями, за что Михаил должен был беспрекословно подчиняться хозяину и работать с 5 утра до 7 вечера. Дальше в контракте говорилось, что ученик пользуется пищей, одеждой и помещением хозяина безвозмездно. Побег от хозяина грозил ученику тюрьмой.

7 октября 1805 г. участь четырнадцатилетнего Фарадея была решена в камере мирового судьи, который, по английскому закону, утверждал подобного рода контракты.

Работал мальчик хорошо. По вечерам, оставаясь один, он жадно читал книги, которые переплетал. Рибо ценил способного ученика и не мешал этому чтению. Сначала Фарадей увлекался романами, путешествиями, сказками. Однажды ему попались три маленьких томика «Химических бесед» мадам Марсе, написанных ярким и живым языком. Книжка Марсе произвела большое впечатление на Фарадея, и с тех пор он пристрастился к чтению естественнонаучных книг. Явления природы и объяснение этих явлений — вот что занимало ум юноши. Он читает статьи по электричеству в Британской энциклопедии.

Мальчик был резв, имел сильное воображение и вместе с тем строгий критический ум. Он начал проверять прочитанное на опыте. Силы электричества настолько пленили его ум, что он соорудил в переплетной мастерской самодельную электрическую машину и немало удивлял ею окружающих. Еще одна книга оставила в уме Фарадея глубокий след. Это были «Письма о физике к немецкой прин-

цессе» Леонарда Эйлера. Фарадей познакомился также с сочинением «Об уме» Уайта, трактующим модную в то время тему о познавательных способностях человеческого разума.

В 1810 г. умер от туберкулеза Джеймс Фарадей. В этом же году Михаил Фарадей в витрине книжного магазина прочел объявление о том, что некий мистер Тетем прочтет ряд вечерних общедоступных лекций по естествознанию у себя на квартире. Плата за вход 1 шиллинг. Шиллинг, который так беспокоил Михаила, дал ему брат Роберт, правда, предупредив Михаила, что все эти лекторы — шарлатаны. Тетем оказался добросовестным и опытным педагогом. На этих лекциях Фарадей познакомился с несколькими молодыми учеными, которые не только помогли ему преодолеть трудности, встречавшиеся при изучении того или иного вопроса, но и дали возможность молодому переплетчику проникнуть в некоторые научные учреждения, в том числе в созданное тем же Тетемом вольное «Философское общество». Новые связи в большой мере содействовали развитию и образованию Фарадея.

Фарадей усердно конспектировал лекции и своим прилежанием обратил на себя внимание жильца своего хозяина, художника-эмигранта Маскерье, который обучил его рисованию и черчению.

Тут же на лекциях Фарадей познакомился с Бенджаменом Абботом, который на всю жизнь остался его другом и в тяжелые минуты поддерживал Фарадея.

В 1812 г. один из клиентов переплетной мастерской — Дэнс обратил внимание на любознательного и чрезвычайно способного ученика. С целью поощрить его к дальнейшим занятиям Дэнс предоставил ему возможность посетить несколько лекций знаменитого химика Дэви, которые произвели на Фарадея неизгладимое впечатление.

Дэви, несмотря на свою молодость, был самой блестящей фигурой в английском ученом мире и пользовался большой известностью за границей. Свою научную карьеру он сделал с большой быстротой. Дэви много работал над изучением действия разных газов в газовой лечебнице доктора Бэддоса в Клифтоне. Его открытие — соединение азота с кислородом (веселящий газ) создало ему большую известность. Дэви пригласили читать лекции в Королевском институте Великобритании, открытом на средства частных лиц, с прекрасно оборудованными аудиториями и лабора-

ториями. Вначале он был единственным лектором Королевского института и сразу же стал очень популярным среди лондонской публики. На лекциях Дэви состав слушателей был совершенно иной, чем у Тетема. Фарадей чувствовал себя неловко среди нарядных леди и блестящих милордов. В своих лекциях по электрохимии Дэви доказывал научные истины на опыте, разбивая общераспространенные предвзятые мнения. Это производило сильное впечатление на Фарадея, который, несмотря на свою молодость, обладал большой способностью к критическому мышлению. Фарадей восхищался смелостью и новизной утверждений Дэви и прекрасным выполнением опытов.

Фарадей начал упорно думать о том, как бы ему самому заняться наукой. Он решил написать письмо Бэнксу, президенту Лондонского королевского общества естествознания и сам отнес свое письмо. В нем Фарадей просил Бэнкса помочь ему получить хоть самое ничтожное место, где он постарался бы быть полезным науке и где он смог бы пополнить свое образование.

Ответа на письмо Фарадей не получил. С горечью принял Фарадей это холодное равнодушие. Между тем срок ученичества у Рибо окончился, и 7 ноября 1812 г. Рибо рекомендовал своего ученика новому хозяину, французу Делярошу. Делярош был человек вспыльчивый, часто кричал на рабочих и даже бил их. Опытов больше производить Фарадею не удавалось, и все мысли его были направлены на то, как избавиться от грубости хозяина и от отупляющего беспросветного механического труда. По существу, однако, Делярош был добрым человеком и даже хотел сделать Фарадея своим наследником, но Фарадей мечтал быть ученым. Мистер Дэнс, видя удрученное состояние Фарадея, посоветовал ему обратиться к Дэви, послав ему конспект лекций.

Фарадей на этот раз написал короткое письмо и на ответ не надеялся. Ответ последовал, но, к великому огорчению Фарадея, Дэви ограничился обещанием рекомендовать его своим коллегам в качестве... переплетчика. Лишь случай помог Дэви ближе узнать Фарадея и изменить свое мнение о нем.

Лишившись временно способности работать вследствие ранения глаза, Дэви пригласил Фарадея для скромной роли писца. Вскоре из отрывочных частных разговоров с ним Дэви пришел к заключению, что молодой человек обладает

исключительными способностями и довольно большими знаниями. Удивленный Дэви предложил ему вакантное место лаборанта химической лаборатории Королевского института, директором которой он состоял. Хотя обязанности лаборанта немногим отличались от обязанностей простого служителя, Фарадей принял предложение с радостью. Вознаграждение в размере 25 шиллингов в неделю и квартира из двух комнат вполне удовлетворяли нетребовательного Фарадея, тем более, что он мог теперь целиком отдаться научной работе, которая представляла собой предел его желаний.

Дэви не разделял восторга своего нового сотрудника. «Помогая мне в осуществлении моих стремлений, — рассказывал впоследствии Фарадей, — он вместе с тем предупреждал не бросать прежнего места; он говорил, что наука — особа черствая, что она в денежном отношении скуповато вознаграждает тех, кто посвящает себя служению ей. На мое замечание о возвышенных нравственных переживаниях людей науки он улыбнулся и сказал, что предоставит меня опыту нескольких лет, который в этом отношении исправит мои взгляды».

Огромное влияние на развитие Фарадея оказало его путешествие совместно с Дэви на континент. Знакомство с бытом и нравами континентальной Европы, а также с ее выдающимися учеными расширило кругозор Фарадея, обогатило его жизненный опыт и научные знания. Ради этого путешествия он готов был переносить возмутительное отношение к себе высокомерной леди Дэви. Хотя Фарадей был приглашен Дэви в качестве «помощника натуралиста» он, по просьбе Дэви, в некоторой степени заменял камердинера, отказавшегося в последний момент ехать с хозяйками. Неуживчивый характер жены Дэви сделал это двусмысленное положение Фарадея весьма тягостным.

«Я научился понимать свое невежество, — писал Фарадей своему другу, — стыжусь своих разнообразных недостатков и желаю воспользоваться теперь случаем исправить их... Это обстоятельство и побуждает меня сопутствовать сэру Гемфри Дэви до окончания путешествия».

День отъезда из Англии Фарадей пометил в своем дневнике, как день, знаменующий новую эпоху его жизни...

Во время путешествия Фарадей впервые близко соприкоснулся с европейским ученым миром. Дэви посещали

крупнейшие европейские естествоиспытатели — знаменитый Ампер, профессор прикладной химии Клеманс, выдающийся физико-химик Гей-Люсак, физик и врач Делярив и др.

В Париже Дэви при сотрудничестве Фарадея открыл иод¹.

Фарадей наблюдал водяные смерчи и производил опыты с электрическими рыбами — скатами. Он и раньше читал об этих чудесных рыбах, от прикосновения к которым получался сильный электрический удар.

В Италии, во Флоренции, Дэви проделал опыт, на котором подтвердилось предположение Ньютона, что алмаз — горючее тело. Дэви окончательно доказал, что алмаз — это кристалл чистого углерода.

Италия особенно поразила Фарадея. Вся Флоренция представлялась ему сплошным музеем. Флоренция бережно хранит памятники славного прошлого, оставшиеся от Данте, Микельанджело, Петрарки, Галилея. В Флорентийском музее естествознания Фарадей увидел телескоп Галилея, с помощью которого Галилей открыл спутников Юпитера. Будучи в Риме, Фарадей долго простаивал перед зданиями, красота которых заключалась в удивительно правильном соотношении частей. От всестороннего познания природы и культуры Фарадей возвращался к суровым будням, к унижительному положению лакея, что отравляло все радости молодого человека. Жена Дэви, знатная дама, старалась на каждом шагу подчеркнуть Фарадею его зависимое положение слуги. Гости у Делярива, Фарадей был приглашен к общему столу. Леди Дэви была возмущена этим нарушением этикета, и Деляриву пришлось приказать накрыть отдельный столик для Фарадея. Во время обеда он подошел с бокалом к Фарадею и провозгласил тост за науку. «Не огорчайтесь, мой молодой друг, и будьте уверены, что тот, кто хочет унижить другого, унижает только себя».

Фарадей скрывал от своих близких друзей и родных истинное положение, но часто печаль от повседневных унижений его человеческого достоинства прорывалась в нем. Он пишет своему другу Абботу: «Проходя через жизнь, каждый из нас получает двойной ряд уроков: в школе благополучия и в школе лишений. И я думаю, что это относится не только к богатству и к бедности, но и

¹ Одновременно с Куртуа и Клемансом.

ко всему, что делает нас счастливыми или несчастными. Я прошел еще только первый класс обеих этих школ, но я уже научился видеть, что те вещи, которые представляются нам, как несчастье или крайнее зло, на самом деле оказываются благодетельными для будущего нашего развития».

Путешествие с Дэви открыло перед Фарадеем новый мир. Наблюдая за работой учителя, он научился замечать ошибки, которых следовало избегать. Фарадей придавал самообразованию большое значение. «Что может быть поучительнее для нас, чем наблюдение за действиями других?» — писал он. Фарадей с одинаковой пытливостью рассматривал ландшафты, животных и людей. Его, жителя Лондона, города самых резких социальных контрастов, глубоко поражала ужасная нищета, которую он увидел во Франции, истощенной наполеоновскими войнами.

Свои впечатления Фарадей тщательно заносил в дневник, и никакие, даже малозначащие, подробности не ускользали от его внимания.

15 мая 1815 г., через две недели после возвращения в Лондон, Фарадей опять приступил к работе в Королевском институте, но уже не лаборантом, а ассистентом с окладом 30 шиллингов в месяц. Фарадей распisał все часы своих занятий. Все дни он проводил в Институте, а вечера использовал для самообразования по точно выработанной программе. Работы у Фарадея было много. Кроме лабораторных занятий он присутствовал на лекциях Дэви и профессора химии Брэнда, помогая им во всем. После ухода Дэви из лаборатории Фарадей тщательно перемывал всю посуду и убирал приборы. Потом он был занят подготовкой опытов к очередным лекциям. Эта подготовка целиком лежала на Фарадее. По средам он посещал организованный им кружок самообразования — «Философское общество», а субботы проводил у матери.

В «Философском обществе» Фарадей прочел несколько лекций по химии. К своей первой лекции он готовился целый месяц и написал ее всю. Каждое слово, выражающее его мысли, звучало ясно и просто. Товарищи очень тепло приняли его лекцию и указали на недостатки и неудачные обороты речи, повторения, нечеткость отдельных выражений и неправильное произношение. Эта критика внушила Фарадею мысль брать уроки выразительного чтения.

В 1816 г. Фарадей прочел семь лекций о притяжении,

о химическом сродстве, о хлоре, фторе, иоде, кислороде и азоте. К этому периоду относится появление в печати первой работы Фарадея о химическом составе тосканской извести. Произвести химический анализ этой извести поручила Дэви одна знатная дама — герцогиня Монтрозская, а Дэви передал эту работу Фарадею, который выполнил поручение блестяще и составил о нем прекрасный отчет. Дэви остался очень доволен отчетом и передал его Брэнду для напечатания в журнале Королевского института.

Основным стремлением Фарадея в первый период его научной деятельности было стремление овладеть искусством экспериментирования. Он постиг это искусство в таком совершенстве, что впоследствии в ученом мире пользовался славой «короля экспериментаторов».

Стремление Фарадея стать мастером своего дела было той характерной чертой, которая отличала его от многих исследователей, и все, что он ни делал, делалось чрезвычайно тщательно и поистине мастерски.

Всего в течение первого периода своей научной деятельности (1816—1830 гг.) Фарадей опубликовал 60 исследований и вышедшую в 1827 г. книгу «Химические опыты». К числу открытий, сделанных им в это время, относятся и такие значительные, как, например, открытие метода сжигания газов, открытие бензола и бутилена, а также указание метода добывания новой группы веществ — сульфокислот.

Вслед за этим началась эпоха (1830—1860 гг.) замечательных открытий Фарадея в области электромагнетизма и электрохимии, о чем подробнее будет сказано ниже.

Особо необходимо отметить популяризаторскую деятельность Фарадея. На запрос комиссии общественных школ относительно целесообразности популяризации науки Фарадей ответил: «Я удивляюсь и понять не могу, почему естественнонаучные знания, сделавшие большие успехи в последние пятьдесят лет, остаются, так сказать, нетронутыми; почему вовсе не делают основательных попыток знакомить с ними подрастающую молодежь и давать ей хотя бы первые понятия в этих науках».

Кроме «Истории свечи» перу Фарадея принадлежит публикуемое ныне в новом издании популярное сочинение «Силы материи и их взаимоотношения».

Как исследователь Фарадей мало считался с ученой традицией и академической рутинной. Этому благоприят-

ствовало то, что он был самоучкой, не получившим систематического школьного образования. Гений Фарадея не испытывал давления традиционных научных взглядов и мог свободно рассматривать вещи с новых точек зрения.

Это обстоятельство, вместе с завистью к возрастающей славе Фарадея, создало много его противников, во главе которых Фарадей с глубоким сожалением увидел своего бывшего покровителя Дэви. Кампания, поднятая ими против Фарадея, едва не помешала его избранию в члены высшей ученой корпорации Англии — Королевского общества, президентом которой Дэви состоял в то время. Когда последний убедился в том, что подавляющее большинство членов Общества поддерживает нежелательную ему кандидатуру, он предложил Фарадею, чтобы тот сам ее снял. «Я возразил, — сообщает об этом эпизоде Фарадей, — что этого сделать не могу, потому что выставил ее не я, а члены Королевского общества. Он заметил, что я должен побудить их взять свое предложение обратно. Я ответил, что заранее знаю, что они этого не сделают. Тогда он заявил, что сделает это как президент. Я ответил, что сэр Г. Дэви сделает наверное то, что он считает полезным для Королевского общества». Агитация Дэви среди членов Общества не увенчалась успехом, и Фарадей был избран в 1823 г. всеми голосами против одного.

Причины оппозиции Дэви против Фарадея недостаточно выяснены. Обычно указывают на обвинение в плагиате, которое было выдвинуто доктором Волластоном по поводу открытия эффекта вращения магнитного полюса относительно тока¹. Это обвинение будто бы поддерживалось Дэви, который считал, что Фарадей не имеет «нравственного права» носить звание члена Королевского общества. Фарадей в специальной записке опроверг возведенное на него обвинение. Возможно, однако, что корни столкновения между Дэви и Фарадеем лежали глубже и заключались в принципиальных разногласиях религиозно-философского характера. Дэви, как это видно из его сочинения «Последние дни философа», относящегося к 1814—1815 гг., т. е.

¹ Открытие Эрстедом и другими действия тока на магнитную стрелку навело на мысль о возможности получения эффекта более специального характера, именно, взаимовращения тока и магнитного полюса, в частности, вращения тока, или магнита, вокруг оси. Теоретически вопрос был разработан Ампером в 1820 г., экспериментально эффект был осуществлен Фарадеем в 1821 г.

ко времени совместного пребывания с Фарадеем в Риме, и окончательно проредактированного перед самой смертью (1829 г.), от первоначального стихийного материализма пришел к ярко выраженному спиритуализму, фидеизму и даже клерикализму. В заключительных словах книги Дэви выражает уверенность, что исследование природы сделается фундаментом религии: «религия через науку» (стр. 366 французского издания). Фарадей же, как сектант-зандемановец, был не только антиклерикалом, но, как это было указано выше, вообще отделял науку от религии. «Помощник натуралиста» и отчасти камердинер, Фарадей, без сомнения, неодобрительно смотрел на спиритуалистические и клерикальные восторги баронета Дэви, с мистическим трепетом созерцавшего «Вечный город» — центр вселенской христианской церкви (стр. 200). Если к тому же учесть последующую дружбу Фарадея с Тиндалем — представителем наиболее прогрессивного крыла английского ученого мира, то возникнет мысль, что конфликт между Дэви и Фарадеем имел совершенно определенную идеологическую подоплеку.

Отношения между Дэви и Фарадеем в конце-концов улучшились, и Дэви впоследствии любил повторять своим друзьям: «Я в своей жизни сделал несколько немаловажных для науки открытий, но самое из них большое — это то, что я открыл Фарадея». Настаивая на своей кандидатуре в члены Королевского общества, Фарадей защищал свою честь ученого и отнюдь не руководился тщеславием. Тщеславие было ему совершенно чуждо. Когда много лет спустя ему предложено было занять место президента в Королевском обществе, он решительно отказался от этой высокой чести, объяснив своему ученику и другу Тиндалю, что, приняв предложение, он «не мог бы более года ручаться за непорочность своей души».

Не менее равнодушно относился он и к материальным благам. Имея полную возможность применить свои огромные знания в области промышленности и, таким образом, составить себе значительное состояние, Фарадей без колебаний предпочел целиком отдаться научным занятиям широкого и общего масштаба вместо того, чтобы тратить силы на решение мелких, узко практического характера, задач, хотя и весьма выгодных в денежном отношении. Отдельные задания правительства, имевшие практически-гуманитарный характер, например, исследование причин взрывов в

каменноугольных копях, разработка проекта введения электрического освещения на маяках, он выполнял без всякого вознаграждения. Главным источником его существования являлся скромный оклад, который он получал в качестве директора физической и химической лаборатории Королевского института. Жил Фарадей очень скромно, сбережений у него не было. Друзья Фарадея беспокоились о его материальной необеспеченности и возбудили ходатайство перед правительством о предоставлении ему государственной пенсии. Научные заслуги Фарадея были так велики, что ходатайство без спора подлежало удовлетворению.

26 октября 1835 г. Фарадей был вызван к министру лорду Мельбурну. Министр принял Фарадея стоя, не предложив ему сесть, и высказал свою точку зрения, что он, Мельбурн, считает нелепостью всю систему выдачи государственных пенсий литературным и научным деятелям...

Возвратившись домой, Фарадей написал министру вежливое, но решительное письмо, в котором он отказался от пенсии в 300 фунтов стерлингов. Его друзья были очень огорчены этим обстоятельством, но Фарадей категорически настаивал на своем. В конце-концов он все же согласился на получение пенсии, но лишь при условии, что лорд Мельбурн возьмет свои слова обратно и к тому же в письменной форме. Это было требование почти невыполнимое.

Однако результат получился совершенно неожиданный. Ряд весьма влиятельных лиц выступил в защиту Фарадея. Это повлияло на Мельбурна, лишь недавно занявшего не без борьбы пост премьер-министра и обеспокоившегося, что инцидент может быть использован его врагами. Мельбурн написал великому ученому извинительное письмо. Фарадей был удовлетворен. Он говорил своим друзьям: «Я вступился не за свою личную честь, а за достоинство ученого. Надо научить людей, имеющих власть, уважать деятелей науки по их действительным заслугам, а не по их титулам и происхождению».

Скромность Фарадея была так велика, что он не считал возможным воспользоваться отпуском, предоставленным ему Королевским институтом в конце 30-х годов. Между тем в результате чрезмерного напряжения сил его здоровье было сильно расстроено. Лишь после того, как состояние его настолько ухудшилось, что он совершенно лишился

способности работать, жене и друзьям удалось настоять на его поездке в Швейцарию. Здесь Фарадей прожил около года.

В Швейцарии, на отдыхе, Фарадей снова получил возможность любоваться и восторгаться красотами природы, как в дни юности. Наблюдая цвета и окраски неба, Фарадей удивлялся художникам, которые не изучают неба, а дают фальшивые эффекты. Очевидно, поэтому Фарадей так любил английского художника Тернера, известного искусством передавать цветные эффекты неба, и помогал Тернеру в вопросах химического состава красок.

В часы досуга Фарадей увлекался искусством, живописью, музыкой, любил слушать известного певца Гарсиа, посещал театр и особенно любил цирк. Сам Фарадей писал стихи и прекрасно декламировал, читал часто своей жене вслух Шекспира и Байрона с большим чувством и пониманием стиха. В молодости играл на флейте и знал множество песен наизусть. Будучи очень горячим и вспыльчивым, он в обращении с окружающими был ровен, мягок и очень внимательно прислушивался к их замечаниям. Не терпел сомнительных знаний и не гонялся за титулами и славой.

Глубокая любовь к науке, убежденность и прекрасные качества человека еще более украшали гений Фарадея.

В личных отношениях Фарадей также был кристальной чистоты и необычайной чуткости человеком.

«Я не знаю сердца более верного в дружбе, чем сердце Фарадея», — говорил о нем его друг Аббот. У Фарадея было много друзей, любивших его.

Прожив год в Швейцарии, Фарадей возвратился в Лондон значительно окрепшим и тотчас же приступил к своим обычным занятиям, не щадя сил и здоровья. Неизбежным последствием этого явилось полное изнурение организма. С конца 50-х годов Фарадей отказался от целого ряда своих обязанностей, а в начале 60-х годов он вынужден был из-за болезни прекратить всякую работу.

Хотя в этот период Фарадей очень ограничивал себя в занятиях, он все же провел большую работу по составлению и упорядочению электрохимической терминологии. Ему принадлежат употребляемые ныне термины: электролит, электрод, анод, катод. Вопросы научной терминологии, как известно, и до сих пор занимают внимание ученых всего мира.

После смерти жены, в 1866 г., племянница Фарадея взяла на себя заботы о великом ученом. Окруженный ее вниманием, Фарадей спокойно проводил последний год своей жизни. Почти единственным посетителем его в это время был Тиндаль, сообщавший любимому учителю о важнейших событиях в области науки.

25 августа 1867 г. Михаил Фарадей умер.

Гениальность Фарадея как ученого в том, что он открыл новый метод исследования электромагнитных процессов.

До Фарадея электромагнитные явления изучались на основе следующего представления: в телах находятся невесомые специфические электрические и магнитные жидкости, обладающие свойством притяжения и отталкивания через разделяющее их пространство, рассматриваемое как абсолютно пустое. Это так называемое мгновенное действие на расстоянии было отвергнуто Фарадеем. Он предположил, что в электромагнитных процессах основную роль играет промежуточная среда. Эту среду для случая взаимодействия электрически заряженных тел Фарадей назвал диэлектриком. Для случая взаимодействия магнитных тел Фарадей не дал особого названия, но ныне среду, участвующую в такого рода взаимодействиях, называют «магнетиком». Простейшим диэлектриком и магнетиком является так называемое пустое пространство, которое рассматривалось Фарадеем как материальная среда особого рода.

Отрицание Фарадеем абсолютной пустоты является характерной чертой его физики. Критикуя распространенную в его время разновидность атомизма, согласно которой материя состоит из атомов и разделяющего их абсолютно пустого пространства, Фарадей подчеркивает, что с его точки зрения материя присутствует везде, атомы же являются прерывными центрами движений в сплошной материальной среде.

Благодаря выдвинутому Фарадеем представлению сделалось, таким образом, возможным объяснение электромагнитных и световых явлений, не прибегая к антиматериалистическому дальнодействию. Однако вопрос о свойствах материи вдали от скопления больших масс — в межзвездном пространстве, а также в промежутках между отдельными составными частями атомов (одни попрежнему называют ее «эфиром», другие «полем», третьи «пространст-

вом» или просто «средой»), вопрос о взаимодействии этого вида материи с составными частицами вещества еще не решен окончательно. Хотя с разложением атома, с разложением атомного ядра, с изучением космических лучей во много раз увеличилось, употребляя выражение В. И. Ленина, количество подкопов под эфир, все же мы находимся лишь на подступах к нему.

Кроме этой основной идеи о роли промежуточной среды Фарадей в своих исследованиях руководился другой величайшей идеей, именно, принципом сохранения энергии или, как выражался Фарадей, принципом сохранения силы.

К этому принципу Фарадей пришел самостоятельно задолго до опубликования работ Майера, Джоуля, Гельмгольца и других ученых, которые впоследствии дали этому принципу точную количественную и качественную формулировку.

В своей знаменитой работе «Об индукции электрического тока» (1831 г.) Фарадей рассуждает следующим образом: 1. Эрстед и другие открыли, что текущий по проводу ток приводит в движение магнитную стрелку. Согласно принципу сохранения силы (энергии) движение от провода должно передаваться через промежуточную среду. 2. Следовательно, текущий по проводу ток должен также возбуждать некоторое особое состояние движения в расположенном рядом другом проводе. Фарадей сначала предположил, что указанное состояние, которое он назвал электротоническим, возбуждаемое постоянным током, обнаруживается в виде наведенного тока. Опыт, однако, показал, что лишь меняющийся ток вызывает в соседнем проводе соответствующий наведенный ток.

Этим путем была открыта Фарадеем одна из форм электромагнитной индукции. Дальнейшие опыты Фарадея показали, что при всяком изменении магнитного поля, вызывается ли это изменение меняющимся током или же относительным движением магнитов и проводников, всегда порождаются наведенные электрические токи.

Фарадей объяснял процесс электромагнитной индукции следующим образом: от всякого заряженного электричеством тела исходят электрические силовые линии, которые указывают на особое состояние движения в диэлектрике. Точно так же от магнита или электромагнита, т. е. провода, по которому течет ток, исходят магнитные силовые

линии, пронизывающие окружающую среду и указывающие на особое в ней состояние движения.

Фарадей постоянно подчеркивал, что силовые линии следует рассматривать не как математические линии, а как линии физические. По представлению Фарадея, материя, наполняющая пространство, находится в состоянии непрерывного движения. Центрами этого движения являются атомы. Физические силовые линии, соединяющие атомы и тела, указывают на наличие в среде между атомами и телами различного рода движений¹. Опыт Эрстеда обнаруживает, что при равномерном движении электрических силовых линий, например, в случае постоянного тока, возникают магнитные силовые линии, иначе говоря, возникает то особое состояние движения окружающей среды, которое мы называем постоянным магнитным полем. Если же электрические силовые линии движутся неравномерно, как в случае меняющихся токов, возбужденное магнитное поле также является переменным. И Фарадей установил, что подобно тому, как движение электрических силовых линий и связанных с ними зарядов, т. е. ток, порождает магнитные силовые линии или магнитное поле, точно так же всякое изменение магнитного поля или же движение магнитных силовых линий порождает электрическое поле в диэлектрике. Если в таком поле находится замкнутый проводник, то в нем образуется электрический ток.

Два открытых Фарадеем закона², имеющих основоположное значение для учения об электромагнетизме и всей электротехники, можно, коротко говоря, сформулировать так:

1. Всякое изменение электрического состояния среды порождает магнитное состояние.

2. Всякое изменение магнитного состояния среды порождает электрическое состояние.

Эти законы привели Фарадея к открытию самоиндукции. В самом деле, при всяком замыкании или размыкании электрического тока меняется окружающее магнитное поле. Но по второму закону Фарадея изменение магнитного поля порождает электрическое поле. Последнее, именно, и вы-

¹ Этот взгляд на природу атомов и силовых линий изложен Фарадеем в статьях «Об электропроводности и природе материи» (1844 г.) и «Мысли о лучевых вибрациях» (1846 г.).

² Окончательная формулировка этих законов была сделана знаменитыми физиками К. Максвеллом и Г. Герцем.

зывает ток самоиндукции, или экстраток. Более глубокого анализа форм движения, которые образуют то, что мы называем электрическим и магнитным полем, Фарадей не дал. Это пытались сделать ученик Фарадея Максвелл и ряд других ученых. Но Фарадей на основе своих представлений смог прийти к открытию двух большой тонкости и величайшего теоретического значения явлений, именно: действия магнетизма на свет и так называемого диамагнетизма.

Открытие действия магнетизма на свет было непосредственным следствием основного фарадеевского представления о силах природы как различных формах движения материи, взаимно превращающихся друг в друга согласно закону сохранения движения. В отношении света у Фарадея было еще то дополнительное соображение, что световое движение, как и электромагнитное, существует не только в чувственно-ощутимых телах, но и в так называемой пустоте. Фарадей высказал поэтому гениальную мысль, в дальнейшем полностью подтвержденную К. Максвеллом и Г. Герцем, что электромагнетизм и свет — родственные процессы движения.

В 1845 г. Фарадей поставил знаменитый опыт с намагничиванием света. Поместив между полюсами сильного электромагнита кусок стекла особого состава и пропустив через стекло в известном направлении поляризованный луч света, Фарадей показал, что возбуждение электромагнита определенным образом влияет на проходящий через стекло свет. На языке физики говорят: магнитное поле вызывает вращение плоскости поляризации света. Опыт Фарадея был тем опытом, который в конечном счете привел к открытию радиоволн и развитию современной радиотехники. Свои воззрения на природу света Фарадей изложил в статье «Мысли о лучевых вибрациях» (1846 г.). Согласно Фарадею, все тела природы соединены между собой физическими силовыми линиями. Световые волны — это колебания, распространяющиеся вдоль силовых линий. Так как, с точки зрения Фарадея, силовые линии представляют собой прерывные отделенные друг от друга кинетические образования, то теория Фарадея является своеобразной квантовой теорией света. Эту теорию впоследствии разрабатывал Дж. Дж. Томсон, и она известна под названием теории волокнистого эфира.

Открытие действия магнетизма на свет привело Фарадея к убеждению, что магнетизм должен оказывать влия-

ние не только на так называемые магнитные вещества (железо, никель и др.), но и на всякое вещество. Опыт не только подтвердил это предположение Фарадея, но обнаружил также существование веществ, которые не притягиваются стальными магнитами или электромагнитами, а, наоборот, отталкиваются от них. Эти вещества: ряд сортов стекла, кварц, висмут, серебро и др., названы были Фарадеем диамагнитными в отличие от ранее известных парамагнитных.

Основная точка зрения Фарадея на единство сил природы и их взаимопревращаемость заставляла его вести упорную борьбу с теми физиками, которые рассматривали известные в эпоху Фарадея пять видов электричества — от трения, гальваническое, магнитное, термоэлектричество и животное электричество — как различные по существу роды электричества.

Эта борьба привела Фарадея к открытию основных электрохимических законов. Фарадей прежде всего решительно выступил против так называемой контактной теории Вольты, согласно которой простое соприкосновение разнородных веществ, например различных металлов или металлов и жидкостей, само-по-себе может явиться источником электрической силы. Исходя из принципа сохранения силы, Фарадей доказывал, что в элементе Вольты имеет место превращение химической силы, или, как мы ныне говорим, энергии, в электрическую силу, или энергию. Отсюда, естественно, возникала мысль об обратном превращении электрической силы в химическую. До Фарадея Дэви и другие экспериментально осуществляли такое превращение, но лишь Фарадей впервые подошел к вопросу с количественной точки зрения. Пропуская электрический ток через раствор какого-нибудь вещества, например через воду, подкисленную серной кислотой, Фарадей установил, что «разлагающее действие тока постоянно для постоянного количества электричества, несмотря на величайшие различия в происхождении его, в интенсивности, в величине электродов, в природе проводников и т. д.».

Это положение Фарадея формулируется обычно в виде двух основных электрохимических законов:

1. Количество веществ, образующихся в результате разлагающего действия электрического тока, пропорциональны силе этого тока.

2. При прохождении через различные растворы (элек-

тролиты) тока одной и той же силы количества выделяющихся веществ пропорциональны атомным весам или, точнее, так называемым эквивалентным весам, представляющим обычно простые дробные части от атомных весов. Например, пропуская ток через неразветвленную цепь из раствора соляной кислоты, раствора обыкновенной соли и раствора хлористого цинка, получаем на 1 грамм водорода в первом случае 23 грамма натрия во втором и $65 : 2 = 32,5$ грамма цинка в третьем, ибо атомный вес натрия равен 23, цинка — 65, при атомном весе водорода — 1.

Законы Фарадея имели основоположное значение для развития теории строения материи, так как они указывают на существование атомов электрического заряда, связанных с атомами материи. То обстоятельство, что вещества выделяются в количествах, пропорциональных атомным весам, объясняется действием электрического напряжения на заряженные электричеством атомы или группы атомов. Законы Фарадея дали впоследствии возможность вычислить минимальный электрический заряд атома, называемый электроном.

В настоящее время известно, что все атомы представляют собой комбинации отрицательно и положительно электрически заряженных частиц, электронов и соответствующих им протонов¹. Простейший атом — атом водорода состоит из одного протона и одного электрона.

Фарадей является, таким образом, основоположником не только современного учения об электромагнитных и световых процессах, но и современного учения о строении атома. Велики заслуги Фарадея в области открытия новых физических закономерностей, но величайшее значение имеет его метод. Этот метод был материалистическим и послужил Фарадею орудием для борьбы с метафизическими воззрениями естествоиспытателей предшествующего периода.

Энгельс заслуженно поэтому называет Фарадея гениальным ученым. Хотя по своему содержанию современная физика далеко шагнула вперед, но с точки зрения метода работы Фарадея сохраняют для нас свое полное значение и до сих пор являются для каждого физика и инженера несравненной школой правильного физического мышления.

¹ В последнее время обнаружены электроны с положительными зарядами, так называемые позитроны, а также нейтроны — частицы, лишенные внешне зарядов, равно как и ряд других составных частей атома — мезотроны, нейтрино и т. д.

Вместе с тем к отдельным частностям взглядов Фарадея необходимо отнести критически. Особенно необходимо иметь в виду указания, сделанные Энгельсом в «Диалектике природы», на злоупотребление понятием «силы», встречающееся у старых естествоиспытателей, от чего полностью не мог освободиться и Фарадей.

Лекция I¹

Сила тяготения

Посмотрим прежде всего, как удивительно наше положение в этом мире. В нем мы родились, воспитываемся, живем и все это принимаем как нечто должное. В сущности говоря, мы так мало удивляемся, что нас никогда ничто не поражает своей неожиданностью. Я думаю, что в молодом человеке 10, 15 или 20 лет возбуждает больше удивления вид водопада или очень высокой горы, нежели вопрос о его существовании, о том, как он появился на свет, как живет, каким образом стоит прямо и благодаря чему передвигается с места на место. Поэтому получается, что мы входим в этот мир, живем в нем и оставляем его, не давая себе труда задуматься специально о том, как же все происходит. Если бы не старания людей с пытливым умом, углубившихся в эти вопросы и раскрывших важнейшие законы, управляющие нашим существованием на Земле, едва ли мы догадались бы, что тут есть что-либо удивительное.

Исследования законов, по которым мы живем, развиваемся, существуем и наслаждаемся жизнью, занимавшие философов и ученых с самых ранних времен, показывают, что все происходит вследствие существования некоторых сил², или способностей. Эти силы, или способности, столь

¹ Лекции на тему «Силы материи и их взаимоотношения» были прочитаны Фарадеем в Королевском институте Великобритании в 1859—60 г. Первая лекция дважды откладывалась вследствие болезни Фарадея.

² Фарадей наряду с термином сила (force) и способность (abilitie) пользуется также термином power, для которого в данном случае нет подходящего русского слова. Термин power (мощность) в отличие от термина force (сила) означает обычно не внешнюю, а внутреннюю силу, или способность к действию и движению. Впрочем, это различие не проводится Фарадеем очень строго. Необходимо подчеркнуть, что термин и понятие силы

обща, что ничто не может быть проще их. Ничто, например, не может быть обыкновеннее тех удивительных сил, благодаря которым мы имеем возможность стоять прямо, — они необходимы для нашего существования каждую минуту.

Я намерен познакомить вас сегодня лишь с некоторыми из этих сил, не с жизненными силами¹, а с некоторыми наиболее простыми, которые мы называем физическими силами. Чтобы дать вам точное понятие о том, что я подразумеваю под словами способность, или сила, я беру лист бумаги и ставлю его прямо на один из его краев, так, чтобы он опирался на подставку, помещенную передо мной. Я выбираю это как самый примитивный пример предмета, который может быть выведен из своего положения равновесия. Далее я тяну за шнурок, прикрепленный к бумаге, и таким образом опрокидываю ее. Я привел в действие силу моей руки, переданную через шнурок, — способом, который мы найдем очень занимательным, когда будем анализировать его: именно посредством этих сил, действующих совокупно (ибо здесь употреблено в дело несколько сил), я опрокинул лист бумаги.

Если я толкну лист бумаги в другую сторону, то опять-таки сделаю усилие совсем не такое, как в первый раз. Если я возьму теперь кусок сургуча (палку сургуча около 12 дюймов² длины и 1½ дюймов диаметром), потру его фланелью и буду держать на расстоянии около дюйма перед верхней частью вертикально поставленного листа бумаги, то бумага немедленно придвинется к сургучу. Если же убрать сургуч, то бумага упадет, хотя мы до нее ничем не дотрагивались.

В первом примере я произвел действие, обыкновеннее которого ничего не может быть, во втором я опрокидываю бумагу не посредством шнурка или усилия моей руки, а посредством какого-то действия сургуча. Значит, сургуч обладает силой, действующей на лист бумаги. Как пример

страдают большой многозначностью. Критика этого понятия дана многими авторами, в частности Гегелем и Энгельсом (см. библиографию в конце книги).

¹ Представление о специфических жизненных силах было очень распространено в эпоху Фарадея. Но в это время, как и раньше, под жизненными силами разумели отнюдь не то, что в это понятие вкладывает современный витализм. Жизненные силы понимались тогда как силы, присущие особому рода тонкой физической субстанции, заключенной в живых организмах.

² Английский дюйм равен приблизительно 25 мм.

действия еще одного рода силы я мог бы употребить порошок, который также опрокинул бы этот лист бумаги.

Мне хотелось бы, чтобы вы постарались понять, что под словами сила, или способность, я буду подразумевать именно то, что я привел сейчас в действие для опрокидывания листа бумаги. Я не хочу сразу утруждать вашу память названием этой силы, но, очевидно, в сургуче было что-то такое, что произвело притяжение и опрокинуло бумагу. Это «что-то» и есть одно из свойств, которые мы называем силами, или способностями. Теперь вы сможете узнать силу, в каком бы виде я ни показал ее вам. Не думайте, однако, что число различных сил очень велико. Напротив удивительно то, что всеми явлениями природы управляет малое число сил. Лампа, которая находится перед вами, представляет собой пример еще одного рода силы. Здесь имеется сила, способная производить некоторые действия, но отличная от той, которая опрокинула бумагу¹.

Исследуя различные явления, мы мало-помалу приходим к выводу, что в окружающих нас телах заключаются различного рода силы (число их не очень велико).

Начав с простейших примеров притяжения, я постепенно перейду к тому, чем отличаются эти силы одна от другой, и сравню способы, которыми они сочетаются между собой. Земля, на которой мы стоим (нам нет надобности оставлять Землю для приискания примеров, разъясняющих наш предмет, хотя ум человека не прикован к Земле, как его тело: он может подниматься выше ее, ибо куда только прони-

¹ Хотя Ньютон в «Математических началах натуральной философии» (1687 г.) дал строгое математическое определение понятия силы, именно, как причины, вызывающей ускорение движущихся тел, причины эффекта, который измеряется произведением массы на ускорение, тем не менее в эпоху Фарадея понятие силы употреблялось и в более широком смысле, равносильном современному понятию энергии. Термин энергия, встречающийся еще у Кеплера и Даламбера (1785 г.), был введен в науку Томасом Юнгом (1807 г.), но укрепился в ней позже установления закона сохранения энергии Фарадеем, Майером, Гельмгольцем и др., и лишь тогда, когда Ранкин (1853 г.) и Томсон Кельвин (1856 г.) выдвинули различие потенциальной и кинетической энергии. Из статей Фарадея: «О взаимоотношении тяготения и электричества» и «Гипотеза о магнетизме и о природе материи» (см. III том «Экспериментальных исследований»), видно, что Фарадей под силой тяготения обычно разумел то, что ныне называют потенциальной энергией поля тяготения.

кает его зрение, туда проникают и его наблюдения), имеет приблизительно форму шара. Земной глобус, стоящий возле меня, представляет в грубом виде расположение поверхности Земли: столько-то на ней суши и столько-то воды. Карта или рисунок показывают, как построена поверхность Земли.

Далее, я попрошу вас обратить внимание на рисунок разреза геологических слоев Земли, представляющий детальный вид того, что находится под поверхностью земного шара. Когда мы углубимся в него или исследуем его (как люди многими способами делают это с целью изучения, а также для практической выгоды), то увидим, что земной шар составлен из различных веществ, подверженных действию небольшого числа сил, расположенных в странном и удивительном порядке. Исследуя недра Земли, человек узнает историю Земли, историю жил, скал, руд, источников воды, атмосферы, окружающей Землю, и разнообразных материальных веществ, связанных действием сил в одну большую массу, имеющую 8 000 миль в поперечнике¹.

Изумление возбуждает дивная повесть, рассказанная этими слоями (некоторые из них тонки, как лист бумаги), приведенными в последовательность посредством действия сил, о которых я говорил вам.

Для того чтобы вам было легче следить за моим рассказом, я обращаю сегодня ваше внимание на один род силы. Нужно, чтобы вы поняли, что я подразумеваю под словом материя. Любая из этих вещей, которые я могу захватить рукой или посредством этого мешка (ибо я могу, например, собрать воздух в этот мешок), все они суть части материи, с которой нам приходится иметь дело в настоящее время и которую мы будем рассматривать вообще или в частности, смотря по тому, как это нам потребуется.

Я показываю вам род материи, который мы называем водой. Здесь вы видите на столе кусок льда, здесь воду, кипящую в склянке, а здесь пар: он выходит через отверстие склянки вверху ее.

¹ Известное сочинение Ляйелля «Принципы геологии», оказавшее сильное влияние на развитие эволюционных взглядов Дарвина, появилось в 1830—1833 гг., т. е. как раз тогда, когда Фарадей начал свои знаменитые исследования по электромагнитной индукции.

Не думайте, что вода и лед суть две совершенно различные вещи или что пар, поднимающийся пузырьками из воды и выходящий из горлышка склянки, совершенно отличен от жидкой воды. Они могут различаться некоторыми частностями, относящимися к количествам сил, держащихся в том или другом теле, но тем не менее это та же вода, что и великий океан воды, окружающий наш земной шар. Я беру воду для примера, ибо, рассматривая ее, мы найдем в ней все силы, которых мне придется коснуться. Возьмем, например, жидкую воду, имеющую некоторый вес, и рассмотрим, каково количество ее тяжести, или веса. Передо мной стоят весы: на одной чашке этих весов стоит стеклянный сосуд, вмещающий $\frac{1}{2}$ пинты¹, и мы видим, что сторона, где стоит сосуд, сейчас легче другой. Но как только я волюю в сосуд немного воды, вы заметите, что эта сторона весов немедленно опустится. Это показывает, что вода имеет вес.

Если я помешу этот добавочный груз на противоположную чашку весов, то не следует удивляться, если окажется, что сосуд может содержать достаточно воды, чтобы перетянуть и его. В самом деле, вы видите, что я влил в сосуд немного больше воды, и чашка весов, на которой он стоит, опять перевесила другую чашку. Почему я держу бутылку с водой над сосудом, когда вливаю в него воду? Вы скажете, что так надо делать вследствие весьма общей причины, именно, потому, что, согласно закону природы, вода должна падать к Земле.

Поэтому то самое действие, которым я заставляю воду войти в сосуд, увлекает вниз и все ее количество, уже находящееся в сосуде. Действующая здесь сила называется тяготением. На этих весах вы видите большое количество воды, тяготеющее к Земле. Маленький кусок платины², который я держу в руках, тоже тяготеет к

¹ Пинта равна одному литру.

² Платина — металл серого цвета, по цвету и блеску напоминает олово, в 21,5 раза тяжелее воды. В сплавленном состоянии платина мягка и тягуча, легко вытягивается в проволоку и прокатывается в тонкие листы (платиновая жесть). Имеет в технике большое применение из-за своей стойкости к химическим воздействиям. Применяется в виде посуды (тигли, чашки), проволоки для лабораторных целей, в электротехнической промышленности служит для приготовления контактов электродов, для термоэлементов и т. д. В природе платина встречается исключительно в само-

Земле, как и вода. Этот маленький кусочек платины, однако, тяжелее, чем вся эта большая масса воды. Я помещаю платину на противоположную чашку весов, приливаю еще воды, и лишь тогда чашки весов уравниваются. Не удивительно ли, что нужно такое большое количество воды (около полупинты) для того, чтобы уравновесить стремление падать к Земле у такого маленького кусочка платины? Теперь я возьму полоску алюминия¹, объемом приблизительно в 8 раз большую, чем кусок платины, который я только-что держал в руках. Мы видим, что вода уравновесит эту полоску точно так же, как и кусок платины.

Таким образом, мы имеем здесь пример того, что следует понимать под словами сила, или способность.

Я говорил в первую очередь о воде и об ее способности падать вниз. Вы отлично знаете, что океаны омывают земной шар, что они охватывают поверхность, придавая ей округлость, как бы облекая ее покровом. Но вода кроме этого имеет и другие свойства. Например, если я возьму негашеную известь², к ней прибавлю немного воды, то вы увидите другую силу, или свойство, воды. Известь теперь оказывается очень сильно нагретой, из нее поднимаются пары, и, может быть, мы могли бы зажечь о нее фосфорную спичку. Этого не могло бы произойти, если бы в воде не было особой силы, производящей этот результат. Однако эта сила совершенно отлична от той, которая заставляет воду падать по направлению к Земле³.

родном состоянии. Главное месторождение находится в СССР — Средний Урал (Нижнетагильск). Из других стран, добывающих платину, можно указать Бразилию, Алжир и Карскую землю. Платина открыта Уллоа в 1738 г. Атомный вес платины 195.

¹ Алюминий — легкий металл серебристого цвета, в 2,5 раза легче воды. В настоящее время получил весьма широкое применение в технике. Алюминий открыт Эрстедом (1825 г.) и Велером (1827 г.). Его атомный вес равен 27,1.

² Негашеная известь, или чистая окись кальция (CaO), может быть получена путем прокаливании чистого мрамора или кальцита. В технике негашеная известь получается обжиганием известняка в печах различного устройства.

³ В эпоху Фарадея думали, что жидкое состояние воды обусловлено содержащейся в ней скрытой теплотой, которая выделяется при соединении воды с негашеной известью, безводным медным купоросом и при образзации твердого тела. В настоящее время мы знаем, что жидкое состояние воды действительно обусловлено теплотой, но не скрытой, а явной, именно, кинетической,

Теперь я беру другое вещество, безводный медный купорос¹, который покажет нам новый род силы, или свойства, воды, наливаю воду на белый медный купорос. Вы видите, как эта соль немедленно становится синей и выделяет в то же время значительное количество теплоты. Здесь вода приходит в соединение с веществом, которое нагревается почти так же, как и негашеная известь. Посмотрите, однако, какое различие в этих двух случаях. Теплота, образующаяся при гашении извести, так велика, что ее бывает достаточно для того, чтобы зажечь дерево. Этим объясняется, что иногда нагруженные негашеной известью барки загораются на середине реки. Это происходит вследствие силы теплоты, приведенной в действие просачиванием воды в барку. Вы видите, какие удивительные разнообразные темы для размышления возникают по мере того, как мы начинаем углубляться в различные явления: силы теплоты, развивающейся при действии воды на известь, и силы, благодаря которой вода превращает эту соль из белой в синюю.

Мне хотелось бы, чтобы вы поняли сущность простейшего проявления материи, которое называется весом, или тяжестью, ее. Что тела имеют вес, вы видели на примере воды, когда я помещал ее на весы.

У меня в руках находится чугунная полуфунтовая гири²: способность гири тяготеть вниз употребляется специально для того, чтобы с ее помощью определять вес других тел. Вот надутый резиновый пузырь. На этот пузырь я положу гирию для того, чтобы показать вам пример давления вниз железа и способность сопротивляться этому давлению: пузырь может лопнуть, но мы должны стараться избежать этого. Вы видите, что после того, как я поместил полуфунтовую гирию устойчиво на пузыре, последний принял вид, очень напоминающий плоский сыр с округленными краями. Итак, пузырь, наполненный воздухом, поддерживает гирию весом в полфунта.

Вы должны представить себе, как удивительна должна

энергией ее молекул, а также их сцеплением и что теплота, выделяющаяся при химических реакциях, является превращением химической энергии всех реагирующих веществ.

¹ Безводным медным купоросом называют соль, лишенную так наз. кристаллизационной воды. Для ее получения прокаливают синий медный купорос в тигле.

² Английский фунт равен 453 г.

быть сила, тянущая гирию вниз и тем самым заставляющая ее придавливать пузырь, наполненный воздухом.

Позвольте теперь показать эту силу на другом примере. Вы все знаете, что такое маятник. Перед нами находится именно такой прибор (рис. 1). Если я толкну его, он будет продолжать качаться взад и вперед. Я хотел бы знать, в состоянии ли вы объяснить мне, почему этот маятник качается взад и вперед? Заметьте, что когда я держу эту прямую палку горизонтально на высоте того положения, в котором находится шар маятника в обоих концах своего дви-

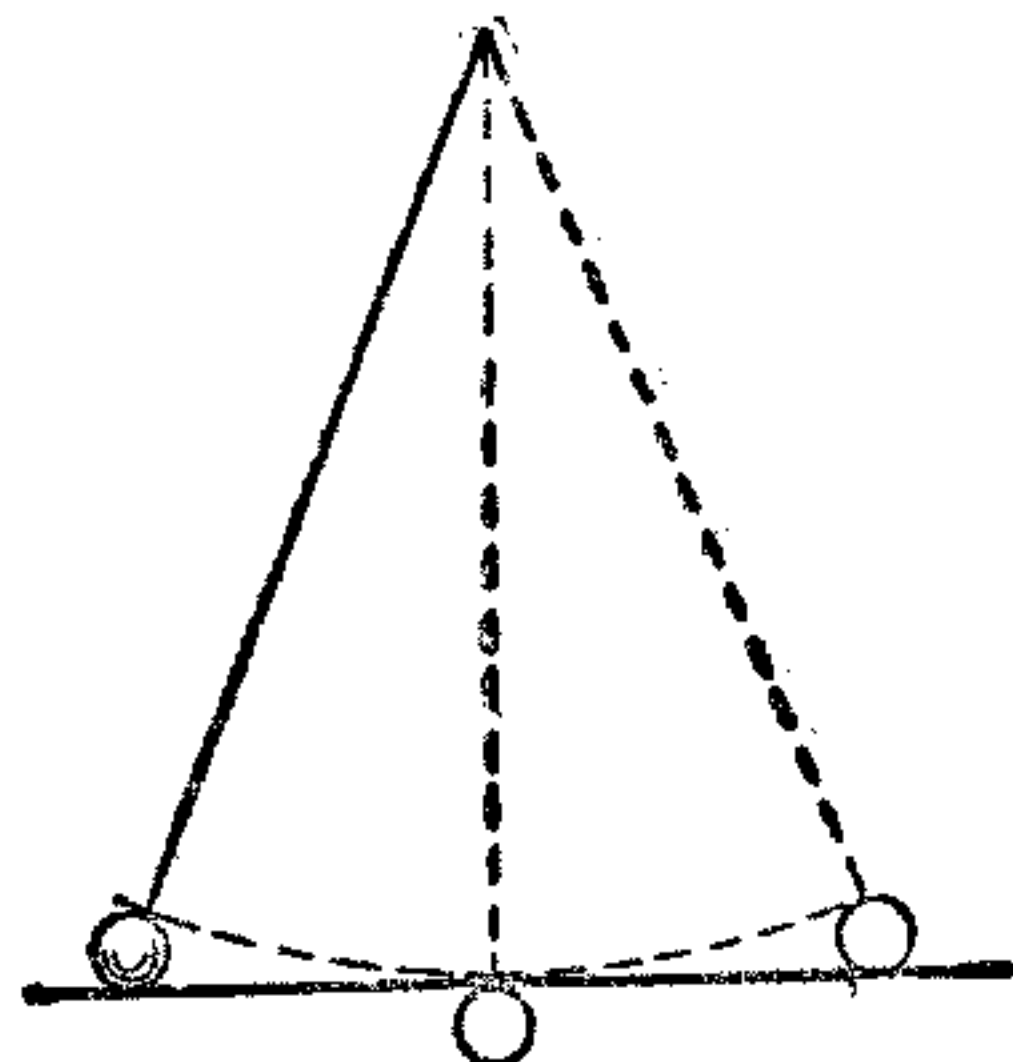


Рис. 1.

жения, то вы видите, что шар в концах своего движения подымается выше, нежели в середине его. Начиная двигаться от одного конца палки, шар опускается к центру и затем опять поднимается к противоположному концу, постоянно стремясь упасть в самое низкое положение. При этом он очень красиво качается, производя движения, замечательные и во многих других отношениях: например в отношении времени колебания и т. д., которыми мы

в настоящее время не можем еще заняться.

Если бы на том месте, где находится шар, был привешен листок золота или какой-нибудь другой предмет, он колебался бы точно таким же образом и то же самое время, как и шар. Вскоре вы увидите, как и почему это происходит. Сила, заставляющая воду опускаться на весах, а железную гирию сдавливать и сплющивать пузырь, наполненный воздухом, и сила, вызывающая качание взад и вперед маятника, эта сила зависит исключительно от притяжения, существующего между падающим телом и Землей. Постараемся хорошенько понять это. Не то, чтобы именно Земля каким-нибудь особенным образом притягивала тела, падающие на нее, — нет, все вообще тела обладают свойством взаимно притягивать друг друга. Земля не одарена какой-нибудь особенной силой, которой не имели бы, например, бильiardные шары: если Земля притягивает два костяных шара, которые я теперь роняю на пол, то они и сами притягивают друг друга. При этом, разумеется, нужно принять во внимание массу шаров и массу Земли: единственная причина, почему они так быстро падают на Землю, заключается в том, что масса Земли боль-

ше. Если бы я поместил эти два шара один возле другого, я не мог бы посредством даже самого чувствительного прибора убедить себя или вас в том, что шары эти действительно притягивают друг друга¹. Между тем мы знаем, что притяжение это существует, потому что, если мы поместим шар близ горы, вместо того, чтобы поместить его около другого подобного же шара, то найдем, что вследствие огромной массы горы сравнительно с массой бильiardного шара последний будет слегка притянут к ней. Из этого ясно видно, что притяжение здесь действует точно так же, как между куском сургуча, натертым фланелью, и листом бумаги, который был опрокинут посредством притяжения.

С первого раза не легко объяснить эти вещи. Но я должен стараться не оставлять ничего непонятным, прежде нежели пойду дальше. Поэтому я постараюсь растолковать вам, что тела притягиваются к Земле или, говоря более ученым языком, тяготят к ней. Не смущайтесь тем, что я употребляю это слово: ибо когда я говорю, что медный грош тяготит к Земле, я не хочу сказать этим ничего более, как только то, что он падает на Землю и что если не удержать его, то он падал бы и падал до тех пор, пока не достиг бы того места, которое называется центром тяжести Земли, о котором я скоро буду говорить.

Я постараюсь объяснить вам, что сила тяготения никогда не теряется, что всякое вещество одарено ею и что количество этой силы никогда не меняется². Для примера я возьму кусок мрамора. Мрамор этот имеет вес. Когда я положу его на весы, он заставит опускаться чашку, на которой лежит, а когда я снимаю его с нее, то весы опять приходят в равновесие. Я могу разложить этот мрамор и изменить его точно так же, как могу обратить лед в воду

¹ Такого рода чувствительным прибором являются крутильные весы, изобретенные профессором геологии Мичеллом (1762 г.) и усовершенствованные Кавендишем и Кулоном. Кавендиш произвел в 1796 г. опыт по определению непосредственного притяжения двух шаров. Эти опыты повторялись Байли (1843 г.), Райхом (1852 г.), Карно (1870 г.), Джолли, Бойсом (1894 г.), Этвешом (1891—1897 гг.), Зеemanом (1917 г.) и др.

² Это закон сохранения веса, установленный опытным путем в очень широких пределах, но не абсолютно. А. Эйнштейн в своей общей теории относительности подробно, однако лишь формально, разработал вопрос о физической структуре поля тяготения и его связи с электромагнитным полем. Закон сохранения веса не следует смешивать с законом сохранения материи, являющимся абсолютным законом природы.

и воду в пар. Я могу легко обратить часть мрамора в его собственный пар и показать, что пар, выходящий из мрамора, способен оставаться на одном и том же месте при обыкновенной температуре. У водяного пара этой способности нет. Далее, если я прибавлю к мрамору¹ немного жидкости и таким образом разложу его, то нам покажется, будто жидкость кипит, что происходит лишь вследствие отделения одной части мрамора от другой. Прделаем этот опыт. Несколько кусков мрамора я помещаю в стеклянный сосуд и наливаю на них воды и кислоты: немедленно на-

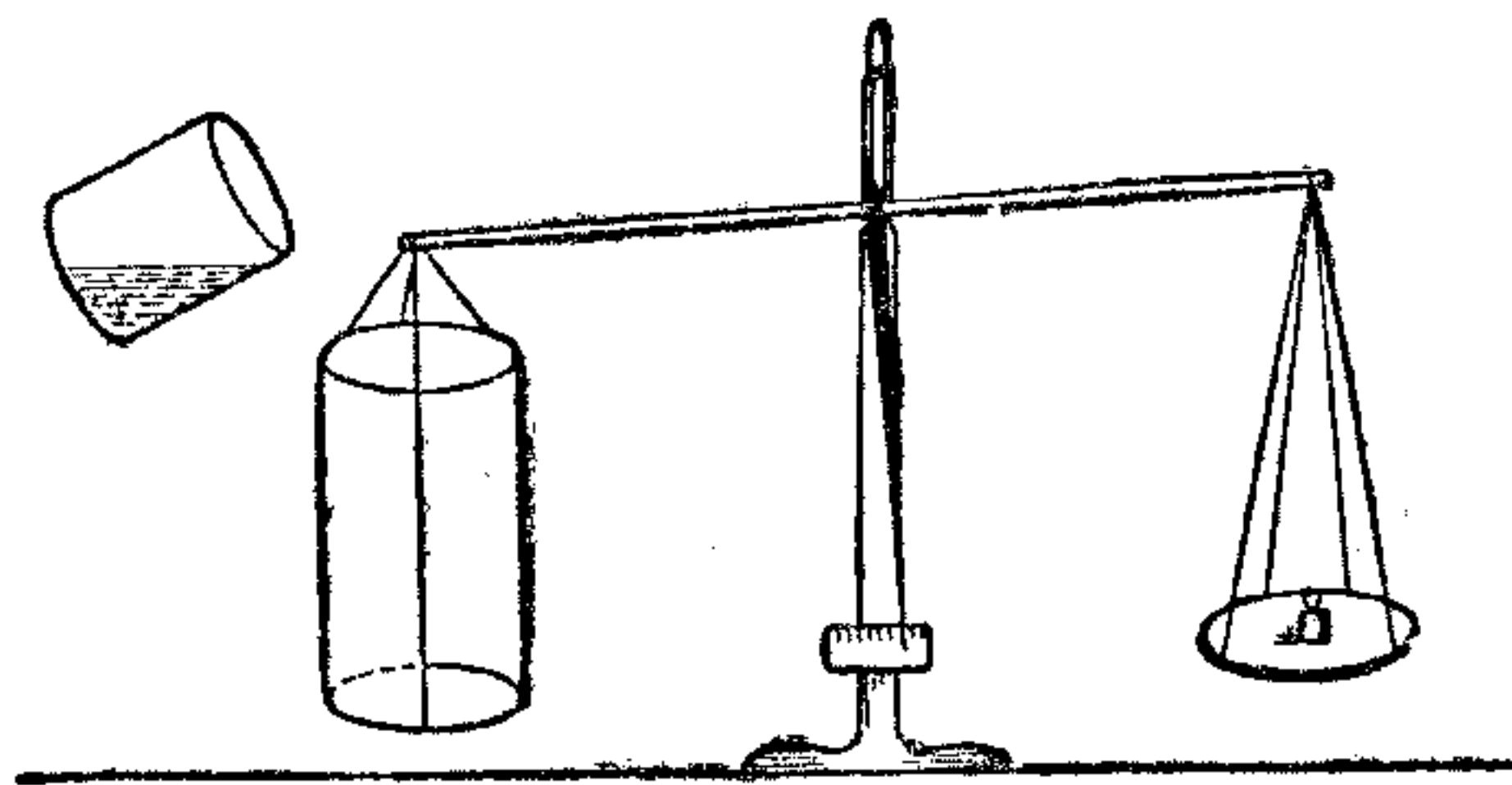


Рис. 2.

чинает выделяться углекислота, причем жидкость принимает вид сильно кипящей жидкости. Пар, выделяющийся из мрамора, а также водяной пар (и всякий другой пар), как и всякое иное вещество, тяготеют, все они притягивают друг друга, падают к Земле. Я хочу теперь показать вам на опыте, что пар из мрамора имеет вес. Я помещаю на одну чашку весов большой сосуд и уравниваю весы (рис. 2).

Как только я налью в сосуд пар, вы увидите его способность тяготеть. Для этого внимательно смотрите на указательную стрелку весов, передвигается она или нет, в то время как я наливаю пар из стакана, в котором он образовался, в сосуд, стоящий на весах. Вы видите — стрелка передвигается, и отсюда становится ясным, что пар этот имеет вес. Смотрите, как опускается чашка, на которую помещен сосуд. Не любопытно ли это? Я ничего не влил в сосуд кроме невидимого пара или газа², выде-

¹ Мрамор представляет собой кристаллическую соль кальция (CaCO_3). При действии серной кислоты (H_2SO_4) получается сернокислая известь (CaSO_4) и угольная кислота (H_2CO_3), распадающаяся на углекислоту (CO_2) и воду (H_2O). Углекислота в обычных условиях — бесцветный газ тяжелее воздуха. Фарадей, пользуясь сильным давлением, превратил этот газ в жидкость, Тилорье — в твердое тело.

² Газ отличается от пара тем, что его ни при каком давлении нельзя превратить в жидкость без охлаждения ниже температуры, называемой критической. Понятие критической температуры экспериментально было известно Каньяр-Латуру (1822 г.), Фа-

радею (1848 г.) и Д. И. Менделееву (1860 г.), предложившему самое название. Теоретическое же выяснение смысла этого понятия принадлежит Эндрюсу (1869 г.). Самому Фарадею удалось добиться сжижения ряда газов (хлора, аммиака и др.), однако попытки сжижения таких газов, как кислород, водород, азот и другие, не удались. Поэтому установилось представление о постоянных газах. После выяснения понятия критической температуры Кальете и Пикте удалось в 1877 г. впервые получить жидкий кислород: критическая температура — 118° . В дальнейшем были получены жидкий водород (-242°) и другие газы.

радею (1848 г.) и Д. И. Менделееву (1860 г.), предложившему самое название. Теоретическое же выяснение смысла этого понятия принадлежит Эндрюсу (1869 г.). Самому Фарадею удалось добиться сжижения ряда газов (хлора, аммиака и др.), однако попытки сжижения таких газов, как кислород, водород, азот и другие, не удались. Поэтому установилось представление о постоянных газах. После выяснения понятия критической температуры Кальете и Пикте удалось в 1877 г. впервые получить жидкий кислород: критическая температура — 118° . В дальнейшем были получены жидкий водород (-242°) и другие газы.

Я бы хотел обратить теперь ваше внимание на другой вопрос. У меня в руках несколько дробин: каждая из них падает сама-по-себе и имеет свою собственную силу тяготения: вы это видите, когда я даю им падать свободно на лист бумаги.

Помещая дробинки в бутылке, я соединяю их в одну массу. Ученые нашли, что среди такого соединения дробинок есть одна точка, которая может рассматриваться как точка, в которой сосредоточена вся сила тяготения отдельных дробинок: точку эту они назвали центром тяжести. Теперь я беру лист картона или какого-нибудь другого вещества, которое легко обрабатывать, и протыкаю его шилом в одном из углов, именно в углу А (рис. 3).

Мой помощник, г. Андерсон, держит его в руке перед нами. Затем я беру шнурок с костяным шаром и привешиваю его на том же шиле, пропущенном через папку. Тогда центр тяжести как папки, так и шара со шнурком, к которому он прикреплен, находится возможно ближе к центру Земли, т. е. вся притягательная сила Земли как бы сосредоточена в одной точке папки, причем точка эта находится прямо под точкой ее привеса. Чтобы найти эту точку, мне только придется провести линию АВ, соответствующую шнурку с шаром, и мы найдем, что центр тяжести находится где-то на этой линии. Но где же именно? Для того чтобы определить ее, стоит только взять другое место для шила (рис. 4), снова провести отвес и повторить тот же опыт. Здесь в точке С, где обе линии, которые я начертил, пересекаются, и находится центр тяжести куска картона. Если я проткну

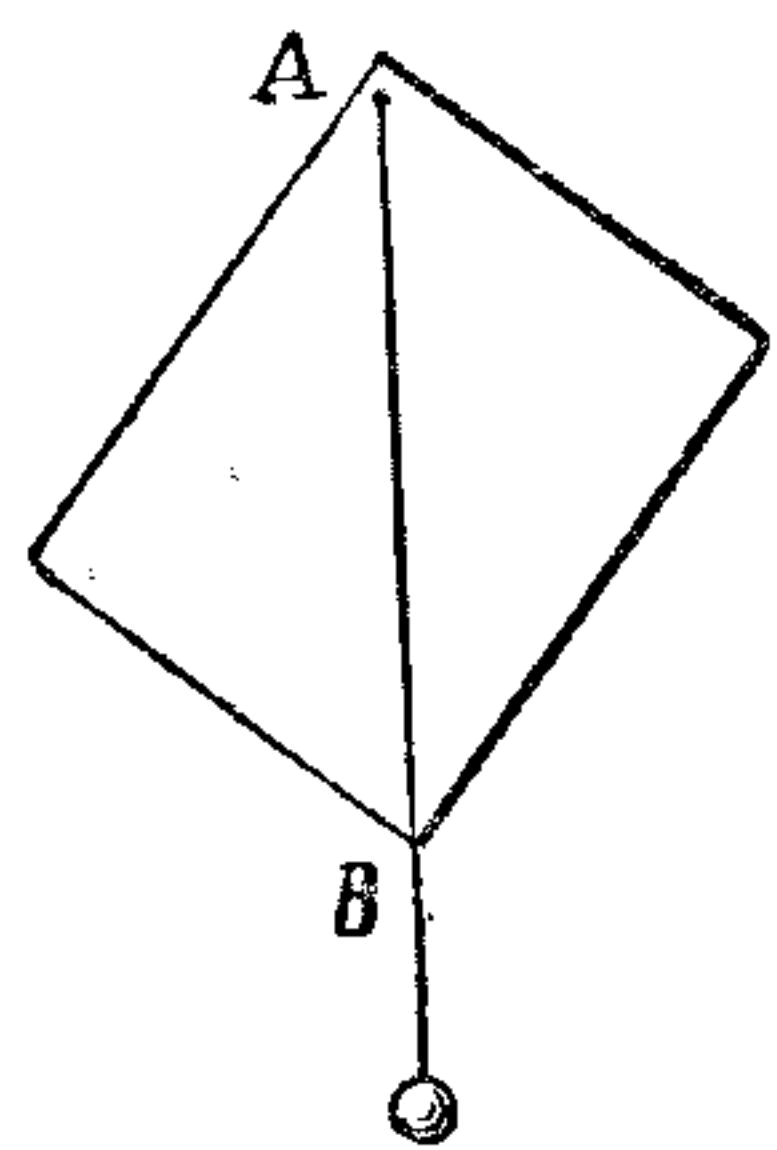


Рис. 3.

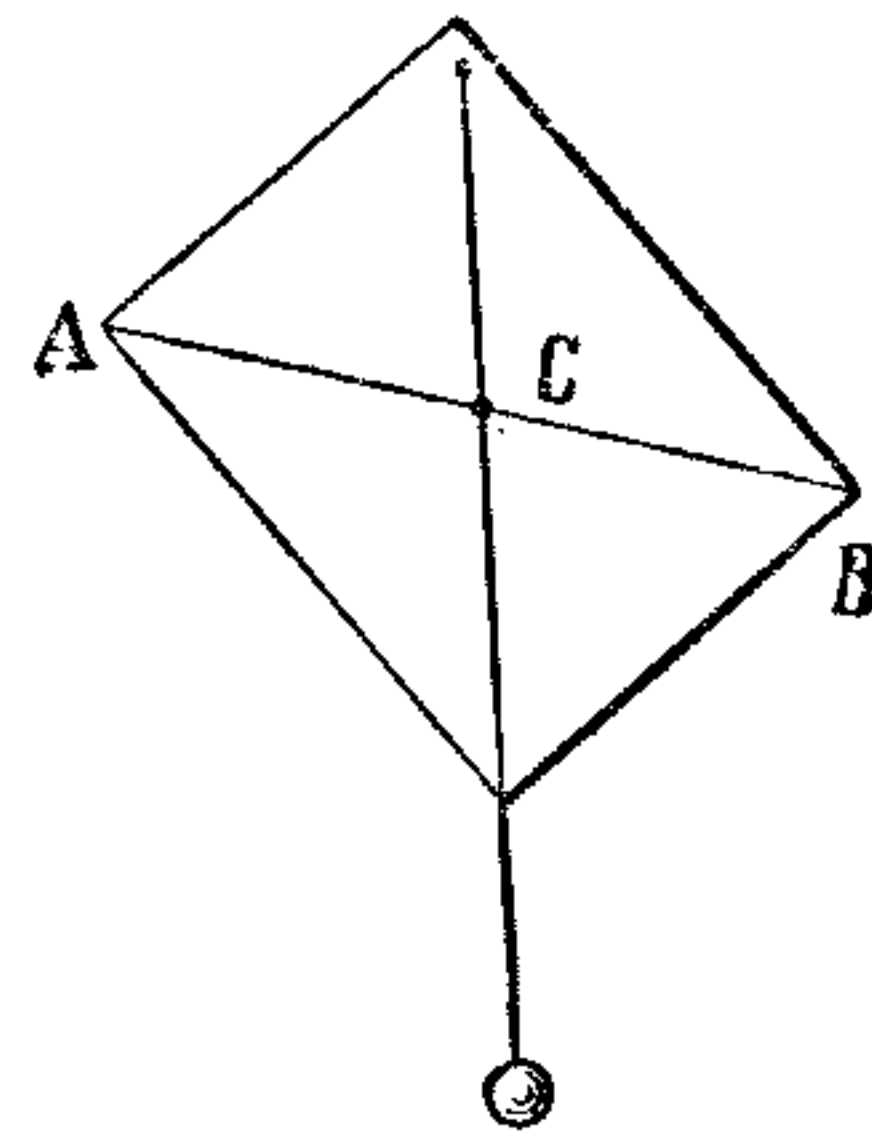


Рис. 4.

картон в этой точке шилом, то вы увидите, что он сохранит всякое положение, в которое мы приведем его, поворачивая около шила. Зная это, что я должен сделать, скажем, когда хочу стоять на одной ноге? Не видите ли вы, что я перемещаю свое тело на левую сторону, спокойно приподнимаю потом правую ногу и таким образом помещаю какую-то центральную точку моего тела над левой ногой. Что же это за точка, которую я перемещаю таким образом? Вы сразу догадываетесь, что это центр тяжести, т. е. та точка внутри меня, в которой сосредоточена вся сила тяжести моего тела и которую я, таким образом, привожу в такое положение, чтобы она находилась на прямой линии над моей левой ногой.

Вот игрушка, которая мне попала на-днях (рис. 5) и которая, я думаю, очень пригодится нам для пояснения нашего предмета. Игрушка эта должна бы лежать таким образом (рис. 5) и действительно лежала бы в этом положении, если бы была составлена из однородного вещества. Однако вы видите, что она не остается в этом положении: она опять поднимается. Здесь является нам на

помощь наука: не заглядывая внутрь фигуры, я вполне убежден, что в ней есть какое-нибудь приспособление, благодаря которому центр тяжести ее находится в самом низком положении тогда, когда фигура стоит прямо; и мы можем быть уверены, что, опрокидывая ее (рис. 6), мы тем самым приподнимаем центр тяжести (а) и удаляем его от Земли. Весь секрет в том, что внутри куклы, в нижней части ее, находится кусок свинца, а основание ее представляет очень широкую кривую поверхность. Но что будет, если я захочу установить куклу на конце острей? Вы види-

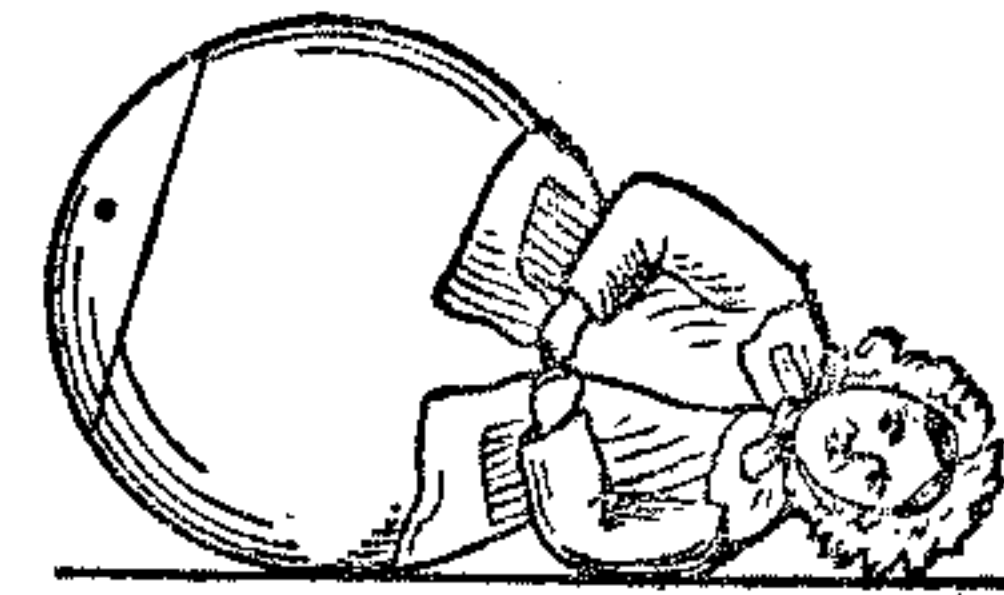


Рис. 5.



Рис. 6.

те, что я должен поместить острее точно под самым центром тяжести куклы, иначе она опрокинется. Установить ее таким образом дело не легкое, — я не могу поставить ее устойчиво. Но если я доставлю этой бедной старушке массу огорчений, повесив ей на шею проволоку со свинцовыми шарами по концам, то, очевидно, шары, висящие по обеим сторонам ее, в добавление к свинцу, помещенному внутри фигуры, заставят центр тяжести опуститься, и она будет легко стоять на острее (рис. 7). Еще более докажет справедливость нашего рассуждения то, что она стоит на острее даже в наклонном положении.

Я помню один опыт, который очень удивлял меня, когда я был мальчиком. Я вычитал его в одной книге о фокусах. Вот какая задача была там предложена: «каким образом повесить ведро с водой за край стола с помощью палки?» (рис. 8). Вот ведро, палка и стол. Спрашивается, каким образом повесить ведро за край стола? Делается это следующим образом: я беру палку, вставляю ее в ведро между его дном и этим горизонтальным бруском дерева и даю ему таким образом твердую рукоятку, — как видите

когда через него проходит большой расплющенный кусок золота. Но я хочу показать вам, что, когда сопротивление воздуха устранено, листок золота падает так же быстро, как и червонец: я помещаю его внутрь бутылки, так что листок, воздух, заключенный в бутылки, и сама бутылка будут находиться в одних и тех же условиях при падении, и листок упадет с такой же скоростью, как и всякое другое тело. Если я прикреплю веревку к бутылки, содержащей золотой листок, и начну качать ее наподобие маятника, то могу заставить ее колебаться так сильно, как это мне угод-

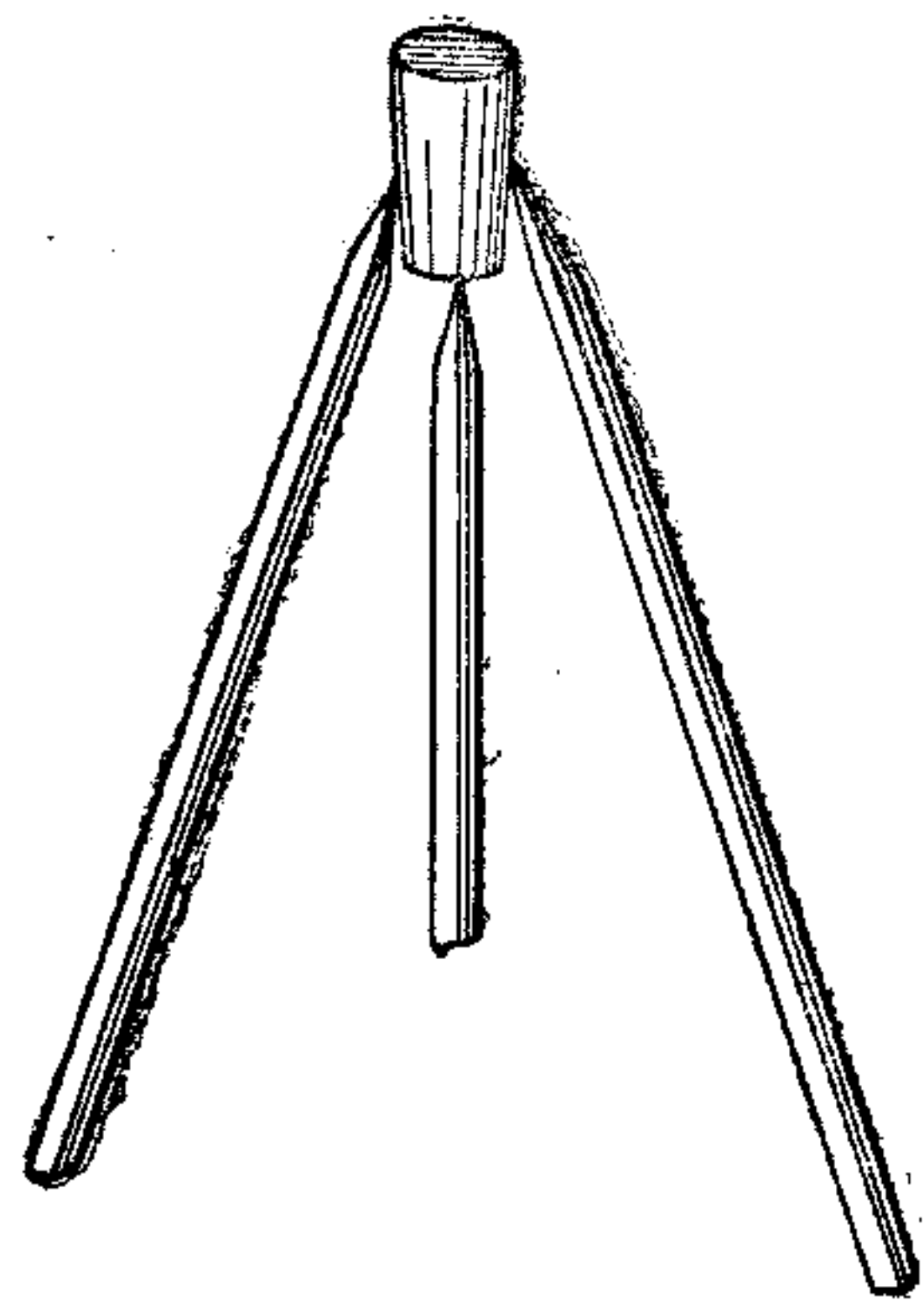


Рис. 10.

но, — золотой листок не будет выведен из своего положения, а будет колебаться так же правильно, как и кусок железа. Я могу даже вернуть веревку с держащейся на ней бутылкой вокруг моей головы с какой угодно силой, а листок все-таки не выйдет из своего положения внутри бутылки. Я могу попробовать сделать другого рода опыт: посредством веревки и блока я подниму листок вместе с бутылкой, в которой он находится, к потолку и дам вдруг упасть бутылки так, чтобы она в конце падения только на несколько дюймов отстояла от сто-

ла, на котором я подложу что-нибудь для того, чтобы поймать ее, на случай, если я неловко сделаю опыт: вы увидите, что золотой листок нисколько не будет потревожен внутри бутылки во время ее падения. Мы видим, таким образом, что золотой листок и стеклянная бутылка падают с совершенно одинаковой скоростью в том случае, если мы устраняем сопротивление воздуха¹.

Вот другой опыт. Я повесил кусок золотого листка в верхней части длинного стеклянного сосуда и посредством известного приспособления наверху его могу освободить листок и дать ему падать. Прежде нежели сделать это, мы удалим воздух из сосуда, выкачивая его посредством

¹ Полного устранения сопротивления воздуха в данном случае нет, но для тяжелой бутылки этим сопротивлением можно пренебречь.

воздушного насоса. Пока это делается, позвольте показать вам другой опыт того же рода. Возьмите медный пятак или серебряный рубль и бумажный кружок немного меньше этой монеты и дайте им упасть один возле другого для того, чтобы видеть, происходит ли их падение в одинаковое время или нет: я роняю кружок и монету, и вы видите, что они падают не одинаково скоро, медный пятак падает скорее кружка. Поместите теперь этот бумажный кружок плашмя на монете, так что сопротивление воздуха не будет действовать на него, и после того отпустите их: вы увидите, что теперь они падают в одно и то же время¹. Я думаю, что если вместо бумаги поместить на монету золотой листок, то произойдет то же самое: очень трудно наложить его так плотно, чтобы воздух не мог войти под него, между ним и монетой, и приподнять его во время падения. Потому я сомневаюсь в успехе, так как золотой листок морщинист. Однако все-таки пробую сделать опыт. Вот, они соединены. Я отпускаю монету с наложенным на нее листком, и вы сразу замечаете, что они достигают стола одновременно.

Теперь мы выкачали воздух из сосуда, и вы можете убедиться в том, что золотой листок упадет в пустоте так же скоро, как монета в воздухе. Я отпускаю листок, — смотрите, как скоро он падает: именно так скоро, как и должно падать золото².

К сожалению, приближается время, когда нам придется расстаться. По мере того как мы пойдем вперед, я буду писать на доске, стоящей позади меня, некоторые слова для того, чтобы напоминать вам то, что мы уже рассмотрели. В заголовке я помещаю слово: «сила». Под этим словом я буду прибавлять названия различных сил в порядке, в каком мы рассмотрим их. И хотя я, может быть, недостаточно ясно показал важнейшие явления, связанные с силой тяготения, в особенности закон, управляющий производимым ею притяжением, для чего, я думаю, мне придется употребить немного времени при будущем свидании нашем, тем не менее я напишу это слово на доске.

¹ Хотя на монету действует сопротивление воздуха, но это сопротивление невелико сравнительно с весом монеты, так что монета и лежащий на ней бумажный кружок как бы падают в пустоте.

² Т. е. одинаковым образом с любым телом, падающим в пустоте.

Я надеюсь, что вы теперь будете помнить, что мы до некоторой степени ознакомились с силой тяготения, — с силой, заставляющей все тела, удаленные на заметные расстояния, притягивать друг друга и стремящейся соединить их вместе.

Лекция II

Тяготение. Сила сцепления

В последний раз я говорил, что все тела притягивают друг друга: силу, производящую это действие, мы называли тяготением. Я уже говорил, что когда мы приближаем друг к другу два тела, хотя бы, например, два косяных шара равной величины, подвешенные на шнурках, — то они взаимно притягиваются, и мы можем считать всю силу притяжения сосредоточенной в их центрах тяжести. Если я заменю малый шар большим, то притяжение будет действовать гораздо сильнее; если бы я увеличивал этот шар до тех пор, пока он, наконец, сравнялся бы величиной с нашей Землей, или же мог бы взять самую Землю в качестве большого шара, — притяжение стало бы тогда так сильно, что оно заставило бы шары устремиться друг к другу. Вы сидите прямо на своих местах, я тоже стою на своем месте, потому что мы надлежащим образом уравновесили наши центры тяжести относительно Земли¹. Нет надобности напоминать вам, что по другую сторону Земли люди стоят и двигаются таким образом, что их ноги приходятся против наших ног, т. е. что они находятся в обратном положении сравнительно с нами, и что это происходит вследствие их тяготения к центру Земли.

Я не могу закончить вопроса о тяготении, не сказав нескольких слов о правильности и законах его действия. Начну с отношения между действием этой силы и расстоянием тел, притягивающих друг друга. Если я беру один

¹ Чтобы наше тело, помещенное на земной поверхности, находилось в равновесии, необходимо, чтобы сила тяжести, проходящая через центр тяжести, уравновешивалась сопротивлением опоры, а это возможно в том случае, когда вертикаль из центра тяжести проходит внутри площади опоры. В более сложных случаях нескольких опор имеют место сложные соотношения, рассматриваемые специальной наукой — механической статикой.

из этих шаров и ставлю его на расстоянии одного дюйма от другого, то они притягиваются с известной силой. Если я держу шар на большем расстоянии от другого, то они притягиваются с меньшей силой, а если я еще более удалю их один от другого, то притяжение между ними станет еще слабее. Это чрезвычайно важно. Зная этот закон, ученые открыли замечательные явления.

Вы знаете, что есть планета Уран, так же, как и наша Земля, вращающаяся около Солнца, но удаленная от него на 1 800 миллионов миль¹; есть другая планета, отстоящая на 3 000 миллионов миль. Сила притяжения, или тяготения, между ними все-таки действует, и ученые открыли эту последнюю планету, Нептун, благодаря действию ее притяжения и несмотря на громадность расстояния от Урана². Я хочу, чтобы вы ясно поняли, в чем состоит закон тяготения. Ученые говорят обыкновенно и говорят правильно, что два тела притягивают друг друга «в обратном отношении квадратов расстояний между ними». Получается простой набор слов, пока вы не уяснили себе смысла их; но я надеюсь, что вы скоро поймете, в чем состоит этот закон и что значит выражение «в обратном отношении квадратов расстояний».

Приведем пример. У меня здесь лампа *A* (рис. 11), весьма сильно освещающая экран *BCD*. Свет этот действует для наблюдателя подобно солнечному свету, так что посредством его я могу получить тень от этого маленького щитка *BF*, сделанного из куска игральной карты. Как вы знаете, щиток, помещенный непосредственно перед большим освещенным экраном, дает нам тень, по величине совершенно равную ему самому. Теперь я возьму карту *E*, равную *BF*, и поставлю ее на половине расстояния между лампой и освещенным экраном: обратите внимание на величину тени *BD*: она вчетверо больше первоначальной тени. Вот здесь-то мы и приходим к понятию об «обратном отношении квадратов расстояний». Расстояние *AE*, положим, равно единице, тогда расстояние *AB* равняется двум, но если величина щитка *E* равняется единице, то величина

¹ Английская миля равна приблизительно 1,6 км.

² Нептун был открыт теоретически астрономами Леверрье и Адамсом в 1845 г., исходящими в своих вычислениях из изучения неправильного (возмущенного) движения Урана. Берлинский астроном Галле занялся наблюдениями согласно указаниям Леверрье и в 1846 г. открыл на небе предугазанную Леверрье планету.

тени BD равняется четырем вместо двух, что составляет квадрат расстояния ее от лампы A . Если я помещу щиток на одной трети расстояния от лампы, то тень от него на освещенном экране будет в девять раз больше его самого. Если я держу щиток здесь в BF , то на него падает известное количество света, а если я держу его ближе к лампе, в точке E , то он освещается сильнее. Вы сразу видите на сколько: именно на то количество света, которое остановлено щитком и не доходит до освещенно-

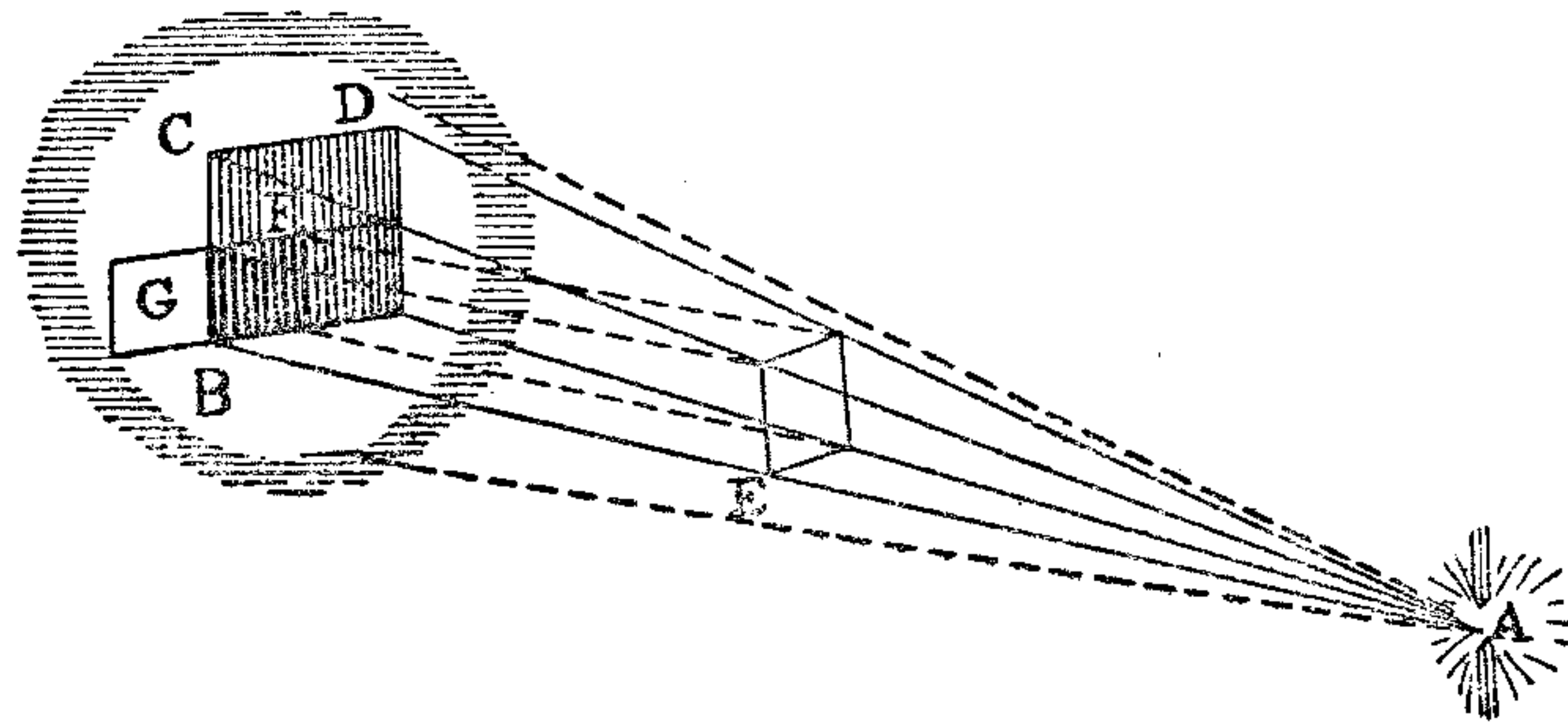


Рис. 11.

го диска, отчего на нем образуется тень BD . Сверх того, вы видите, что если я помещу щиток здесь, в G около тени, то он может получить только четвертую часть остановленного света. Вот это-то и понимают под словами «обратно пропорционально квадратам расстояний». Щиток E освещен более всего, потому что он ближе всех к лампе, и в этом весь секрет странного для нас выражения «обратно пропорционально квадратам расстояний». Если, возвратившись домой, вам трудно будет вспомнить сущность того, что я рассказал, возьмите свечу и поставьте ее так, чтобы тень от какого-нибудь предмета, например вашего профиля, падала на стену. Затем, приближаясь и удаляясь от стены, вы увидите, что величина вашей тени будет соответствовать квадратам расстояний, на которые вы удаляетесь от нее. Если вы посмотрите, сколько света падает на вас от свечи, когда вы находитесь на одном расстоянии, и сколько, когда вы на другом расстоянии, то увидите, что количество падающего на вас света обратно пропорционально квадратам расстояний от свечи.

То же самое происходит и с притяжением между двумя шарами, находящимися у меня в руках. Они притягивают друг друга в обратном отношении квадратов расстояний между ними. Мне хотелось бы, чтобы вы постарались запомнить эти слова, ибо тогда вы будете в состоянии уяснить себе вычисления астрономов относительно планет и других тел и сказать, почему они двигаются так быстро вокруг Солнца, не падая на него, а также сможете понять многие другие интересные исследования этого рода.

Оставим теперь темы, которые я обозначил словами: «сила», «тяготение», и пойдем дальше. Все тела притягивают друг друга на заметных расстояниях. Прошлый раз я вам показал электрическое притяжение, хотя не назвал его этим именем. Оно также действует на известном расстоянии. Чтобы идти вперед постепенно, я возьму несколько маленьких кусочков железа (железных опилок) и уроню их на стол. Я говорил вам, что во всех случаях, когда тела падают, притяжение действует на их отдельные частицы¹. Вы можете поэтому рассматривать эти кусочки железа как прообразы отдельных частиц, увеличенных таким образом, чтобы глаз мог их видеть: эти кусочки не связаны друг с другом, все они тяготеют, все падают на Землю, ибо сила тяготения никогда не исчезает. Вот у меня здесь центр силы, которой я пока не назову вам: когда кусочки железа положены на него, посмотрите, как они притягиваются между собой.

У меня образовалась арка из железных опилок (рис. 12), правильно построенная подобно железному мосту, потому что я поместил опилки в область действия силы, заставляющей их притягивать друг друга².

Я мог бы заставить мышь пробежать под этой аркой, а

¹ Из взгляда, что тяготение действует между отдельными частицами, или атомами, исходил Галилей при обосновании закона одинаковости падения всех тел в пустоте. Этот же взгляд лежит в основе теории всемирного тяготения Ньютона.

² Это сравнение, проводимое Фарадеем, подобно ряду его других сравнений, не следует понимать слишком буквально. Современная квантовая механика доказала, что при переходе от тел обыкновенных размеров к телам атомных размеров меняется и характер действующих закономерностей. Поэтому частицы железа, составляющие мост или гвоздь, т. е. молекулы, атомы, электроны, протоны и т. д., действуют друг на друга иначе, чем железные опилки. Игнорирование этой специфики действующих сил характерно для механистического мировоззрения.

между тем, если я захочу сделать то же самое с этими опилками просто на столе без помощи аппарата, то вы увидите, что они вовсе не притягивают друг друга. В нашем опыте частицы опилок удерживаются вместе действием магнита. Подобно тому как частицы железа связаны вместе и образуют мост, точно так же связаны между собой в одно целое различные частицы железа, составляющие этот гвоздь. Вот полоса железа. Почему она не распадается на части? Только потому, что различные части этого железа устроены таким образом, что удерживаются одна возле

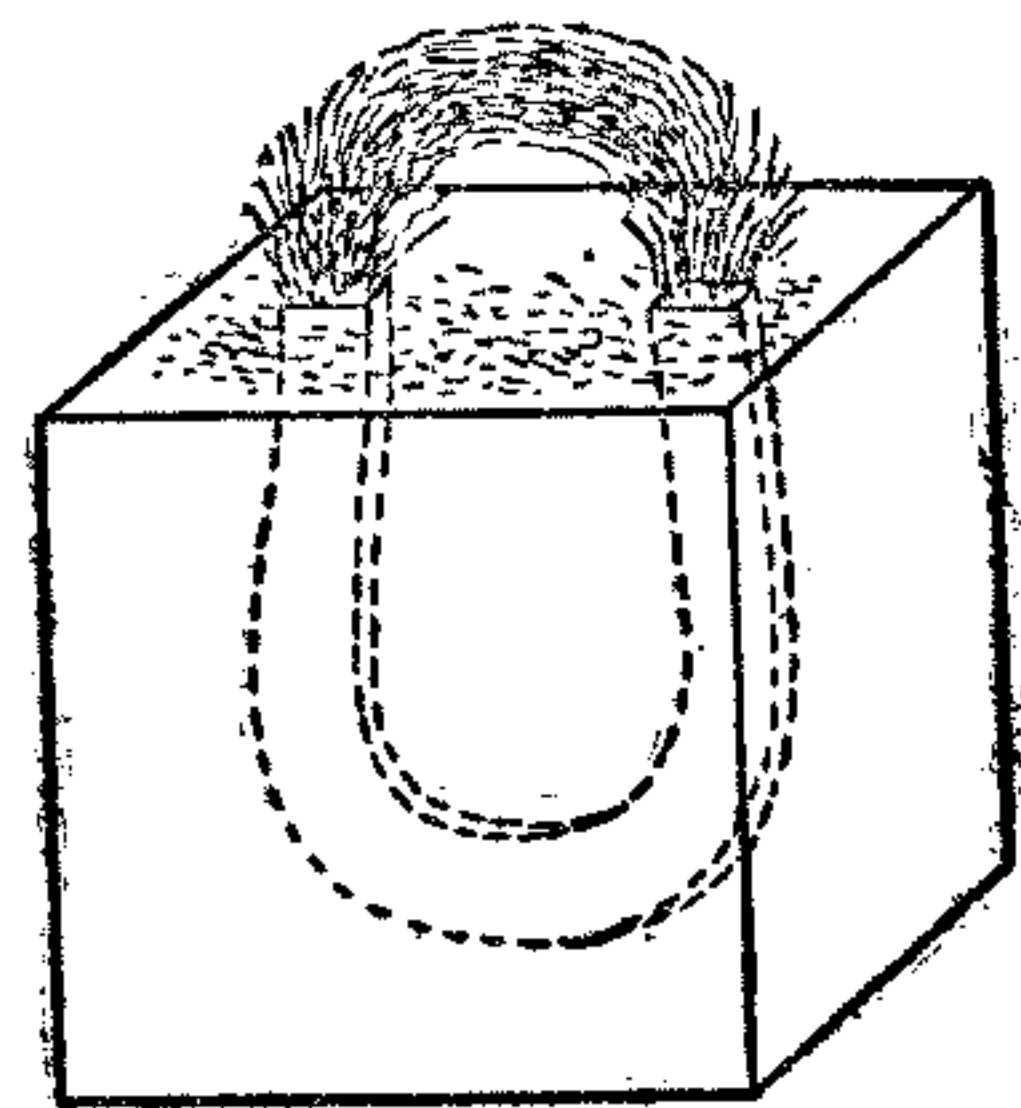


Рис. 12.

другой вследствие взаимного притяжения частиц. В сущности, полоса эта сдерживается просто притяжением одной частицы к другой.

Произведем опыт. Я беру кусок кремня, ударяю его молотом и разбиваю на два куска. Что я сделал? Я только отдалил частицы, составляющие эти два куска, настолько, что притяжение между ними стало слишком слабым для того, чтобы удерживать их вместе. Вот единственная причина того, что у меня

теперь два куска кремня вместо одного. Теперь я сделаю еще один опыт, который покажет, что притяжение между частицами все-таки существует. Для этого я беру кусок стекла (ведь то, что справедливо относительно кремня или полосы железа, справедливо также относительно стекла и всякого другого твердого тела: все они удерживаются в одной массе благодаря притяжению между их частицами) и покажу притяжение между отдельными его частицами. Кусок стекла я обратил в очень тонкий порошок, из него строю твердую стенку, сдавливая его между двумя плоскими поверхностями. Эту стенку возможно построить только благодаря притяжению между частицами, которые, подобно цементу, связывают их вместе. Итак, в этом случае не пришлось употребить никаких особых усилий, чтобы связать частицы. Таким образом, вы видите несколько унций мелко истолченного стекла, стоящих в виде отвесной стенки. Не правда ли, это притяжение весьма замечательно! Еще пример: между частицами полосы железа толщиной в один квадратный дюйм существует такая сила притяжения, что в результате полоса может выдержать вес

около 20 тонн груза, прежде нежели небольшой ряд частиц, расположенных на пространстве одного поперечного сечения ее, будет оторван один от другого¹.

Именно вследствие притяжения между их частицами держатся висячие мосты и цепи. Я сделаю опыт для того, чтобы показать вам, насколько сильно это притяжение. Я ставлю ногу в петлю, сделанную из проволоки, конец которой укреплен в перекладине потолка, и несколько секунд качаюсь на ней, причем проволока поддерживает всю тяжесть моего тела. Вы видите, что, пока я качаюсь, вес моего тела поддерживается этими малыми частицами проволоки, точно так же, как в театральных представлениях проволока поддерживает иногда танцовщицу или танцовщика.

Возьмите глиняную трубку, наполните ее свинцом, расплавьте его, затем вылейте его на камень, и вы получите кусок свинца с чистой поверхностью; это лучше, нежели скоблить его, так как скобление изменяет состояние поверхности свинца. У меня здесь имеется несколько кусков свинца, которые я расплавил сегодня утром для того, чтобы поверхность их была чиста. Теперь эти куски свинца составляют каждый одно целое вследствие притяжения между их частицами. Если теперь я приложу друг к другу два отдельных куска и сильно сдавлю, так чтобы частицы их, сблизившись, попали в область притяжения, то вы увидите, как быстро эти куски соединяются в один. Видите, мне стоит только хорошенько сдавить их и в то же время немного повертеть верхний кусок, и они соединены. Теперь я уже не могу отделить один кусок от другого, как я ни сгибаю и ни кручу их. Куски свинца соединились не припоем, а благодаря притяжению между их частицами.

Впрочем, это не лучший способ соединения частиц. Я покажу вам еще один очень легко воспроизводимый опыт. Вот немного квасцов, прекрасно кристаллизованных природой (ведь все предметы гораздо красивее в своей естественной, нежели искусственной форме), а здесь у меня немного тех же квасцов, растертых в мелкий порошок.

¹ Сопротивление на разрыв различных металлов и сортов металла различно. Так, оно достигает у чугуна 1800 кг, на см², у литой стали — 10 000, литого железа — 4 500, листовой меди — 2 300, алюминия — 1 500, свинца — 300, олова — 350.

В этом порошке я разрушил ту силу, которую обозначил словом «сцепление», т. е. силу притяжения между частицами, сдерживающую их вместе. Теперь я покажу вам, что если всыпать порошок в горячую воду, то он растворится в ней, т. е. частицы его будут разъединены водой гораздо больше, чем в сухом порошке; но при охлаждении воды эти частицы будут иметь возможность опять соединиться (охлаждение благоприятствует их соединению) и образовать одну массу¹.

Я вылью раствор этих квасцов в плоскую чашку. Завтра можно будет видеть, что частицы, растворенные в воде, разъединенные и, стало-быть, не представляющие собой твердого тела, по охлаждении воды опять соединятся между собой. К завтрашнему утру большое количество квасцов выделится из воды в виде кристаллов, т. е. опять перейдет в твердое состояние.

Описанный опыт делается обычно следующим образом. В стеклянную чашку наливается сперва немного горячего раствора квасцов, а когда она от этого нагреется, доливаются остальная часть раствора. При употреблении стеклянной посуды рекомендуется нагревать ее медленно и постепенно. Повторяя этот опыт, делайте, как делаю я, т. е. выливайте жидкость осторожно и помните, что чем осторожнее и медленнее вы будете делать этот опыт, тем лучше получатся кристаллы. На следующий день вы увидите, что частицы квасцов соединились между собой, а если добавить в раствор два куса кокса (кокс должен быть прежде всего чисто вымыт и высушен), то они покроются прекрасными кристаллами квасцов, ничем не отличающихся от естественных минералов.

Как замечательно расширяются наши понятия, когда мы следим за условиями притяжения сцепления! Сколько новых явлений здесь раскрывается перед нами.

Смотрите, как велика сила сцепления: все материалы, например железо, камень и другие материалы большого сопротивления, которые мы употребляем для построек, содержат эту силу. Все громадные постройки нашего времени,

¹ Квасцами называются двойные соли серной кислоты, образуемые, с одной стороны, алюминием, хромом, железом, иногда магнием, а с другой — щелочными металлами, калием и др. Для получения кристаллов квасцов необходимо взять насыщенный раствор квасцового порошка.

все здания, паровозы, пароходы¹ и прочее обязаны своим существованием этой же силе сцепления и тяготения.

Теперь я покажу вам вещество, в состоянии которого вы заметите изменение в тот момент, когда оно произойдет. Сперва это вещество желтого цвета, а затем принимает красивый малиновый цвет. Смотрите внимательно, как я буду его получать. Вот две жидкости, обе бесцветные, как вода. Эти жидкости, или растворы, называются хлористой ртутью и иодистым калием. Смешав их вместе, получим на дне сосуда осадок желтого цвета — иодистую ртуть, которая почти немедленно принимает малиново-красный цвет. Вещество это очень красиво, но смотрите, как оно быстро меняет свой цвет. Сперва оно было красновато-желтого цвета, а теперь перешло в красный². Я заранее приготовил немного этого красного вещества, которое вы видите здесь в жидкости, и покрыл им бумагу.

Вот несколько листов бумаги, приготовленных таким образом³. Все они покрыты тем же веществом, которое находится и на этом листе, хотя большая часть его желта и он лишь в некоторых местах красен. Не следует думать, что этот лист неравномерно покрыт нашим веществом. Все листы покрыты одинаковым количеством его. Желтый цвет, который вы видите на этом листе, есть цвет того же самого вещества, которое покрывает и остальные листы, но притяжение сцепления частиц в известной степени в нем

¹ Фарадей имеет в виду знаменитый пароход «Great Eastern» — «Великий восточный», построенный в 1853—1858 гг. известным конструктором Брюнелем. Водоизмещение парохода — 27 000 т, грузоподъемность — 1 900 т, мощность паровых машин — 8 000 л. с., скорость — 14,5 морской мили. Пароход этот был непревзойденным по своим размерам до конца XIX в., однако был плохо использован и продан на слом в 1889 г.

² Осадок иодистой ртути. Для получения этого осадка необходимы некоторые предосторожности. К раствору хлористой ртути медленно прибавляют раствор иодистого калия. Образующийся вначале красный осадок снова растворяется при размешивании жидкости; прибавляя еще немного иодистого калия, получаем бледнокрасный осадок, который от дальнейшей прибавки иодистого калия превращается в яркокрасную иодистую ртуть. От прибавки слишком большого количества иодистого калия красный осадок исчезает, и получается бесцветный раствор (К).

³ Чтобы укрепить иодистую ртуть на бумаге, ее нужно предварительно смешать с небольшим количеством слабого раствора арабской камеди; покрытая ею бумага должна быть высушена без нагревания. Иодистая ртуть диморфна, т. е. кристаллизуется в двух формах (К).

изменено. Я возьму лист, покрытый красным веществом, и нагрею его (нетрудно заметить, что при этом образуется немного копоти, но это не имеет для нас значения). Смотрите, сперва он темнеет, а затем мало-помалу становится желтым. Теперь я сделал его желтым, и таким он и останется. Но если я возьму какое-нибудь твердое тело и потру им желтые части на бумаге, то, как видите, они снова станут красными. Вы видели, что красный цвет не был вновь наложен, а восстановился вследствие изменения в расположении частиц вещества. Теперь я нагреваю эту бумагу над спиртовой лампой, и она опять желтеет, потому что притяжение сцепления между частицами в покрывающем веществе снова изменяется. Как вы удивитесь, если я скажу, что этот кусок простого древесного угля представляет собой совершенно то же самое вещество, что и алмаз, который носят в украшениях: они разнятся лишь соединением частиц. Вот образчик особенным образом обугленной соломы.



Рис. 13.

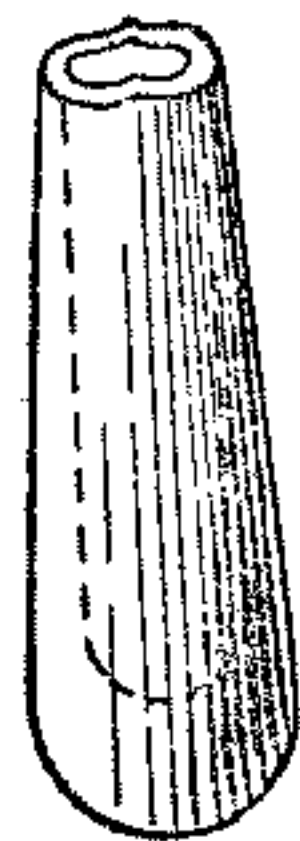


Рис. 14.

Она очень похожа на карандашный графит. Эта обугленная солома, древесный уголь и алмаз — все состоят из одного и того же вещества, но их свойства совершенно различны вследствие различного сцепления частиц в них.

Вот кусок зеркального стекла величиной около двух квадратных дюймов. Он нужен будет в дальнейшем, чтобы рассмотреть его внутреннее строение. А вот здесь немного стекла, отличающегося от первого только силой сцепления своих частиц, потому что еще в расплавленном состоянии оно было опущено в холодную воду. Кусочки стекла, которые я теперь показываю, называются рупертскими каплями¹ или батавскими слезками (рис. 13).

Если я возьму один из этих маленьких кусочков стекла, похожих на слезинки, и отломлю маленькую часть конца, то вся слезинка мгновенно будет разорвана и распадется

¹ Рупертские капли готовятся путем выливания каплями расплавленного зеленого стекла в холодную воду. Они не были изобретены принцем Рупертом, как обыкновенно полагают, а лишь привезены им впервые в Англию в 1660 г. Они возбуждали необыкновенное любопытство и считались какой-то игрой природы (К).

вдребезги. Вы видите, твердое стекло мгновенно обратилось в порошок, и что еще более замечательно, оно выбило при этом дыру в стеклянном сосуде, в котором оно находилось. Такой же опыт можно произвести в склянке с водой, и очень вероятно, что склянка при этом будет разбита. Склянка наполняется шестью унциями воды, в нее помещается рупертская капля так, что конец ее хвоста немного выдается из склянки, затем я отламываю этот конец, капля разрывается, удар передается через воду стенкам склянки и разбивает ее вдребезги.

Вот другой вид того же опыта. Здесь у меня толстостенный сосуд из стекла (рис. 14), которое не было как следует прокалено¹. Если я опущу в него осколок стекла (лучше горного хрусталя — кварца, имеющего то преимущество, что он тверже стекла) и сделаю им маленькую царапину внутри сосуда, весь сосуд распадется на мелкие кусочки. Роняю маленький осколок горного хрусталя в стеклянный сосуд, и дно сосуда сейчас же отделится и упадет на стол. Видите: горный хрусталь проскочил, как сквозь сито².

Я показал эти опыты для того, чтобы вы видели, что не только частицы тел соединены между собой просто силой сцепления, но что соединение это весьма замечательно. Теперь я возьму несколько предметов, в которых действует сила сцепления, и рассмотрю их. Начну с куска стекла, который я могу разбить молотком на части.

Вы видели, как я отколол кусок от кварца, и можете предвидеть, что так же я могу отколоть кусок и от стекла; а если бы я продолжал колоть стекло, то получил бы мас-

¹ Такого рода сосуд называется болонской склянкой. Болонская склянка выдерживает сильнейшие удары, но ломается от малейшей царапины.

² Свойства батавских слезок и болонских склянок основаны на том, что при быстрой закалке или вообще охлаждении образуется сильно сокращенный поверхностный слой стекла, сдавливающий внутреннюю массу, принимающую неустойчивую структуру. Опыт с растворением отростка батавской слезки в плавиковой кислоте показывает, что неустойчивое равновесие массы стекла удерживается небольшой полоской около шейки. Лийнес (de Luynes) обнаружил (1873 г.), что свойства батавских слезок исчезают, если их медленно нагревать при температуре выше 100°, но ниже красного каления. Что касается болонских склянок, то они приобретают свойства батавских слезок при охлаждении на открытом воздухе при обыкновенной температуре. При надлежащем прокаливании указанные свойства болонских склянок исчезают.

су маленьких частичек без определенного вида или формы. Теперь я возьму какое-нибудь другое тело, например минерал (рис. 15), называемый слюдой¹. Мне придется очень долго бить молотом, прежде чем удастся раздробить слюду. Я даже могу, не ломая ее, сгибать в руках по одному определенному направлению, хотя и чувствую, что слюда при этом трескается.

Если теперь взять тот же кусок слюды за один из краев, то вы увидите, что он имеет замечательное свойство разделяться на листочки. Почему он разделяется таким образом? Не все камни или кристаллы разделяются. Вот не-



Рис. 15.

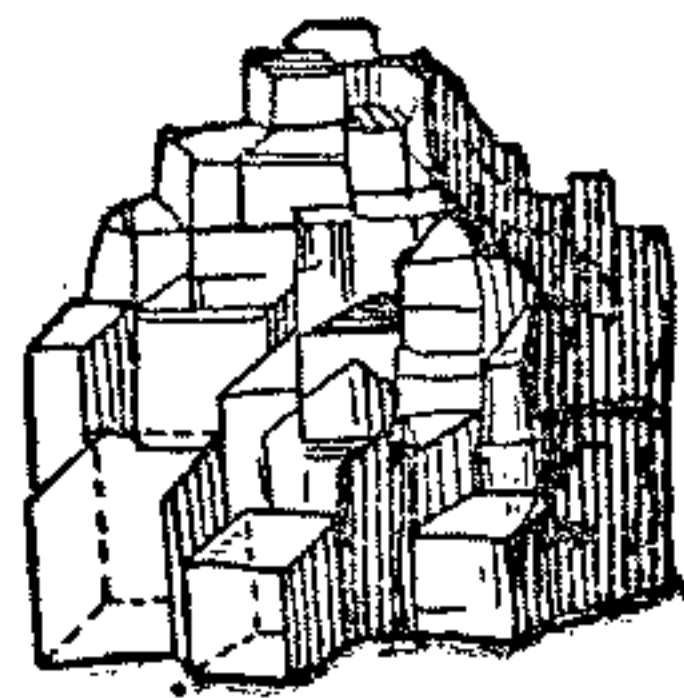


Рис. 16.

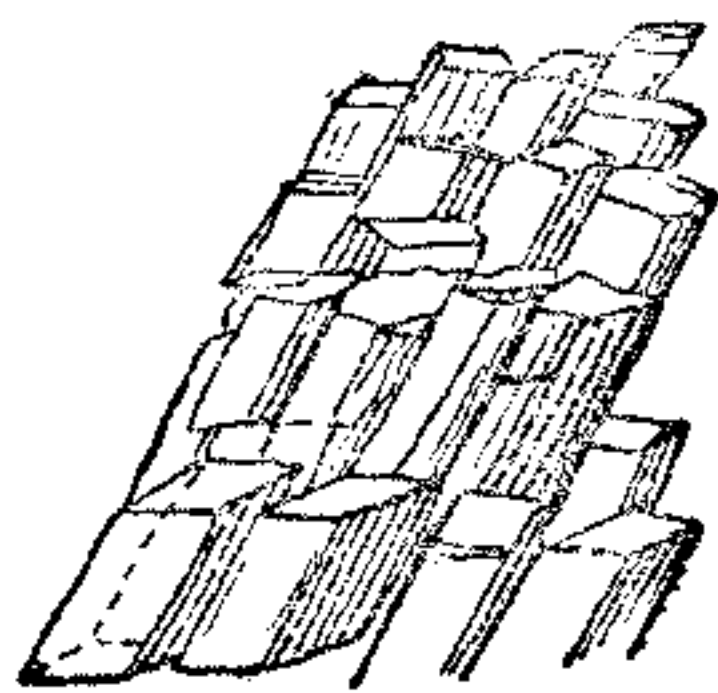


Рис. 17.

много простой поваренной соли² (рис. 16): в этом куске соли частицы соединялись в природных условиях так, чтобы они смогли сложиться и срастись совершенно свободно. Посмотрим, что произойдет, если я попробую разбить этот кусок соли. Он раздробится совсем не так, как раздроблялся кварц или слюда, его осколки обладают определенными острыми углами и правильными плоскостями, блестящими, как грани алмаза. Я осторожно разбиваю кусок соли молотком, и перед вами его части: вот прямоугольная призма, которую я могу разбить на правильные кубы. Вы видите, что все эти осколки прямоугольны, — одна сторона может быть длиннее другой, но соль всегда раздробляется так, что образует кубические или продолговатые куски с прямоугольными гранями.

¹ Слюда представляет собой двойную алюминиевую соль кремневой кислоты (H_2SiO_4) и др. Кроме алюминия в состав слюды входит калий или магний.

² Поваренная соль, или хлористый натрий ($NaCl$), кристаллизуется прямоугольными призмами, распадающимися на кубы.

Я беру теперь другой минерал, называемый исландским, или известковым, шпатом¹, и могу разбить его подобным же образом, но результат будет иной. Вот кусок, который я отколол. Вы видите, тут есть совершенно правильные поверхности, подобные одна другой, по это не куб, а другая форма, называемая ромбоэдром. Исландский шпат разделяется по трем направлениям, образуя очень красивые и правильные куски с гладкими поверхностями, но грани этих кусков наклонены одна к другой не так, как в соли. Почему же это происходит? Совершенно очевидно, что это зависит от того, что притяжение между частицами по одному направлению слабее, нежели по другим; по этому направлению они и отделяются одна от другой. Вот здесь на столе несколько кусков известкового шпата. Я советую каждому из вас взять по одному из них домой и там попробовать разделить взятый кусок ножом по направлению одной из существующих уже поверхностей. Вам это удастся сразу. Но если вы захотите перерезать кристалл поперек, то этого сделать вы не сможете. Ударами молота вы можете расколоть его, но при этом он разделится на те же маленькие ромбоэдры.

Теперь я постараюсь немного подробнее объяснить вам, отчего это происходит.

Для этой цели я употребляю электрический свет. Вы видите, мы не можем заглянуть в самое, так сказать, нутро тела, например этого куска стекла: мы можем лишь видеть его внешнюю и внутреннюю форму и смотреть сквозь него², но не можем хорошенько разъяснить себе, почему это тело приняло именно такой, а не иной вид. Я хочу поэтому показать вам, каким образом мы можем употреблять световой луч для того, чтобы узнать внутреннее строение тел. Свет, так сказать, притягивается всеми телами, одаренными тяготением, а мы знаем, что тел, не обнаруживающих этой силы, нет³. Всякое тело производит на свет более или ме-

¹ Исландский, или известковый, шпат — натуральная кристаллическая углекальциевая соль ($CaCO_3$).

² Под внутренней формой Фарадей разумеет здесь форму отдельных кристаллов, на которые распадается кристаллическое тело.

³ Гипотеза притяжения света гравитирующими телами была выдвинута Ньютоном («Оптика», 1714 г.) для объяснения преломления света и других оптических явлений. После победы волновой теории света она была оставлена. В наше время эта гипотеза на другой основе была выдвинута А. Эйнштейном в его общей теории относительности и проведена экспериментально путем наблю-

нее сильное действие, которое мы можем сравнить с притяжением.

Для того чтобы показать вам его действие, я устроил на полу комнаты весьма простой опыт. В чашку (рис. 18), поставленную на пол, я поместил несколько предметов, невидимых для вас, сидящих в глубине аудитории; на них я покажу вам способность материи притягивать свет. Если г. Андерсон осторожно и медленно нальет немного воды в эту чашку, то вода притянет вниз лучи света, и нам теперь покажется, что куски серебра и сургуча, положенные в чашку, немного поднялись, судя по тому, что они стали видимыми даже для тех из вас, которые сидят слишком низко для того, чтобы через край чашки видеть ее дно. Кто из вас видит теперь кусок серебра и сургуч? Все. Я полагаю, что каждый убедится, что предметы эти

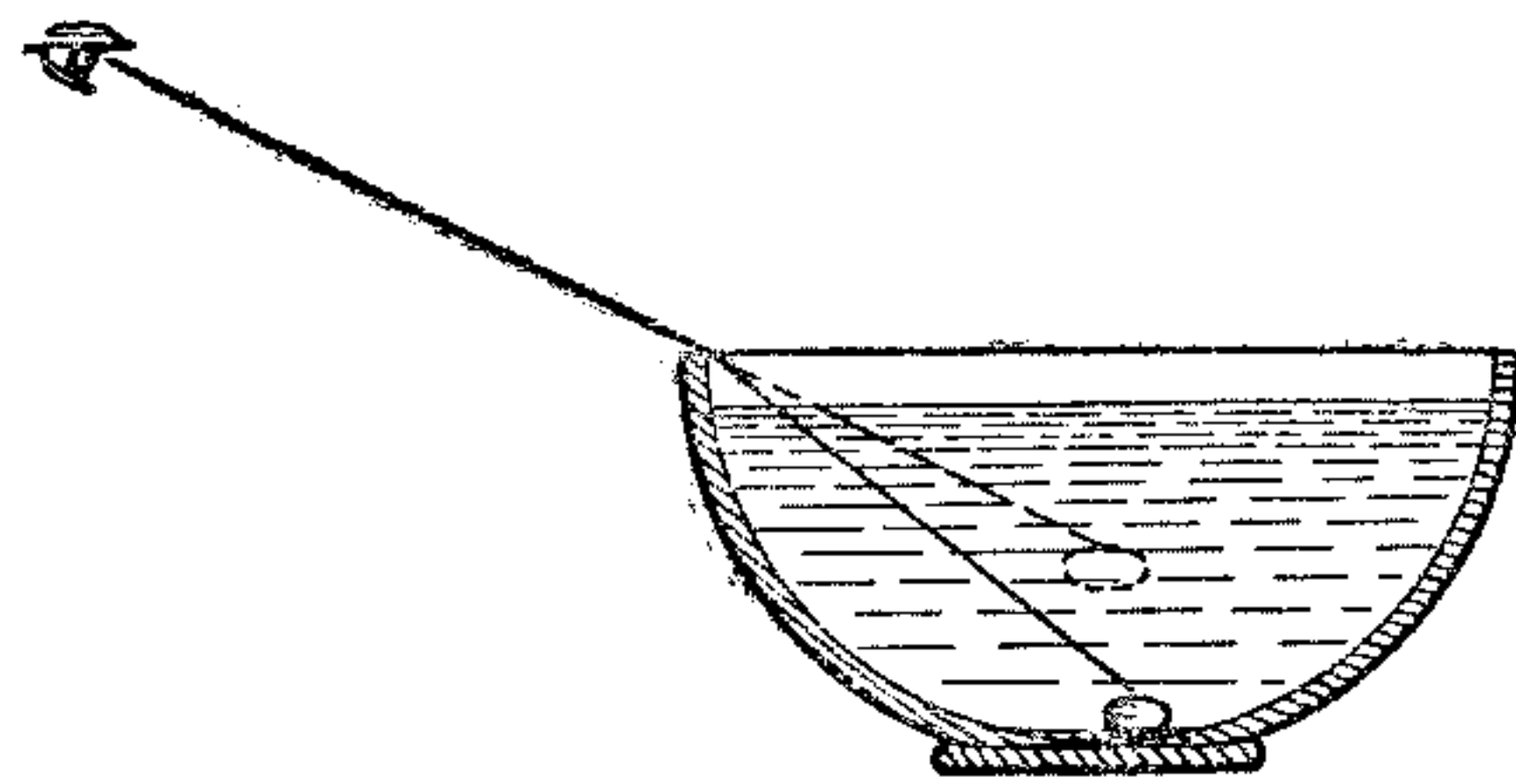


Рис. 18.

не трогались с места, а между тем, судя по тому, что они кажутся приподнятыми, вы могли бы вообразить, что эти предметы имеют по крайней мере два дюйма толщины, тогда как тут всего только одна из наших маленьких круглых серебряных пластинок и кусок сургуча, который я положил на нее. Лучи света, доходящие теперь до вас от этого серебра, задерживались прежде краями чашки, когда в ней не было воды, поэтому вы и не могли видеть, что находилось внутри нее; но когда мы влили в нее воду, то лучи притянулись водой вниз через край чашки, и вы получили, таким образом, возможность видеть вещи, лежащие на дне ее.

Я начал с этого опыта для того, чтобы вы могли понять, каким образом стекло притягивает свет и как действуют на свет другие тела, например каменная соль¹, известковый шпат, слюда и некоторые другие минералы. Г-н Тиндаль будет так добр, что позволит нам еще раз воспользо-

дения отклонения луча света от далекой звезды, проходящего мимо Солнца.

¹ Каменная соль отличается от обыкновенной морской поваренной соли тем, что образует целые пласты, в СССР, например, около Илецкой Защиты, Оренбургской области.

зоваться светом его электрической лампы. Прежде всего я покажу вам, каким образом свет может быть отклонен куском стекла (рис. 19). Я снова зажигаю электрическую лампу. Вы видите, что если я пропускаю ее свет через кусок простого стекла А, то пучок света проходит через стекло в наклонном положении, потому что тогда явление становится сложнее. Но если я возьму другой кусок стекла В, имеющий форму призмы, то вы увидите, что этот кусок стекла производит совершенно иное действие. Свет не идет через него к этой стене, а отклоняется к экрану С. Смотрите, как он теперь красив и разложен на разные цвета, которые вместе называются призматическим спек-

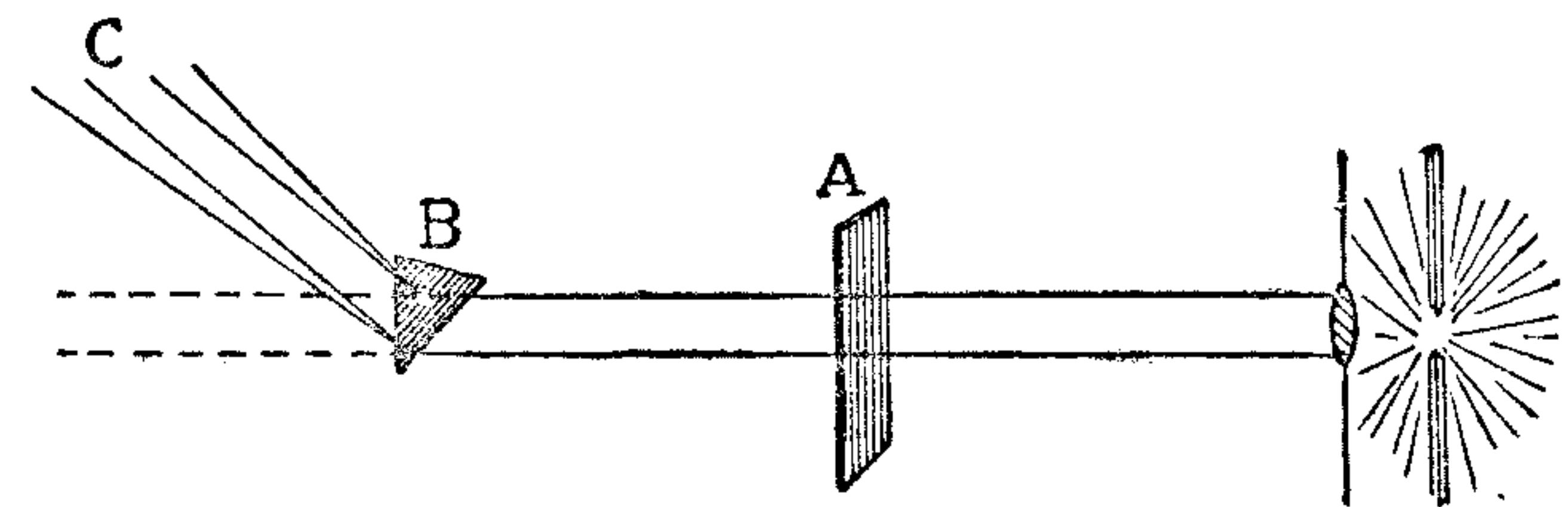


Рис. 19.

ром. Эти лучи света отклонены от своего направления притяжением, производимым на них стеклом¹. Вы видите, что я могу двигать и вращать лучи взад и вперед в разные стороны комнаты, как мне угодно. Я опять останавливаю отклоненный луч на экране, и вы видите, как удивительно красиво стеклянная призма не только отклоняет свет благодаря притяжению, которое она производит на него, но и разделяет его на разные цвета. Стеклянная призма, внутреннее строение которой совершенно однородно, может объяснить действие на свет других тел, в которых сцепление между частицами неодинаково в различных частях, вследствие чего они не везде одинаково сильно притягивают и отклоняют свет. Теперь пропустим свет через некоторые тела, которые, как я уже показывал вам, делятся на части особенным образом.

¹ В настоящее время процесс рассеяния света в призме объясняется более сложным образом. Однако Фарадей прав, указывая на активную роль вещества призмы, о чем склонны забывать даже современные ученые.

Начнем со слюды. Воспользуемся еще раз тем же лучом света. Прежде всего мы можем поляризовать его¹. Я делаю это только для того, чтобы наш опыт был еще более наглядным. Вот поляризованный луч света. Поворачивая так называемый анализатор, я могу сделать так, что экран, на который теперь падает поляризованный луч, будет попеременно то светлым, то темным, хотя на пути этого луча света не находится никаких непрозрачных тел. Теперь сделаем экран совершенно темным и поставим на пути поляризованного луча кусок простого стекла, чтобы убедиться, что свет не может проникать через него. Итак, экран остается темным — стекло благодаря своему строению не пропускает света. Теперь я удалю стекло и вставлю на его место кусок слюды, которую мы с вами разделяли на отдельные листки. Оказывается, слюда пропускает свет к экрану. По мере того как г. Тиндаль поворачивает слюду в руке, на экране появляются и исчезают различные цвета: красный, пурпурный и зеленый. Картина замечательно красива. Она получается не оттого, что слюда прозрачнее стекла, а вследствие того, что частицы в слюде расположены особым образом, зависящим от силы сцепления.

¹ С точки зрения волновой теории света поляризация светового луча заключается в следующем: в неполяризованном луче света колебания эфирных частиц, образующие световую волну, происходят поперек луча по всевозможным меняющимся направлениям; при поляризации колебания происходят лишь в одной плоскости, проходящей через луч света. В электромагнитной теории света Максвелла — Герца, согласно которой свет обусловлен колебаниями электрических и магнитных напряжений в эфире, принимаются обычно две взаимно перпендикулярные плоскости, проходящие через луч одна для электрического, другая для магнитного напряжения. Некоторые вещества, в частности кристаллы, обладают свойством поляризовать свет в определенных плоскостях, их называют поляризаторами. Впервые поляризацию наблюдал Эразм Бартолину в 1670 г. в кристалле исландского шпата. Это явление изучалось Гюйгенсом (1690 г.), но отчетливо было выяснено с экспериментальной стороны лишь Малюсом (1802—1808 гг.) и затем теоретически Френелем и Араго (1819—1821 гг.). Анализатор — это тот же поляризатор, но служащий для обнаружения и изучения поляризованных лучей. Анализатор пропускает поляризованный луч лишь через определенные плоскости сечения. Поэтому, поворачивая анализатор, можно гасить поляризованный луч и снова его пропускать. В настоящее время в связи с обнаружением двойственной природы света (волна—частица) понятие поляризации света усложнилось и до сих пор не имеет общепризнанного истолкования.

Посмотрите теперь, как действует на свет известковый шпат — минерал, разбиваемый на ромбоэдры. Удаляю слюду и вставляю на пути света (в А) кусок известкового шпата. Посмотрите, как этот минерал поворачивает свет и вызывает на экране появление цветных колец и черного креста (рис. 20). Обратите внимание на эти цвета. Не правда ли, они великолепны? Я наслаждаюсь ими так же, как и вы. Как дивно это явление раскрывает перед нами внутреннее расположение частиц известкового шпата, — расположение, зависящее от силы сцепления!

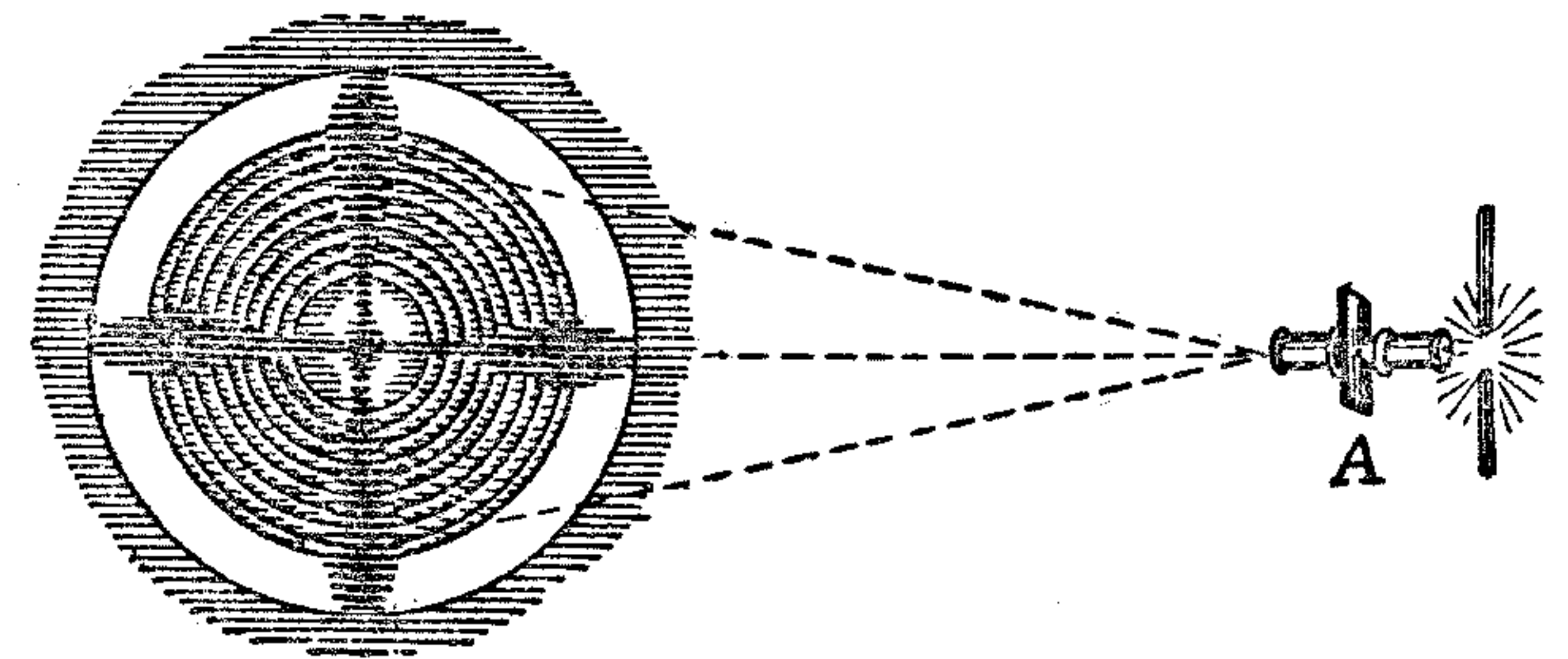


Рис. 20.

Теперь я покажу вам еще один опыт. Вот кусок стекла, который прежде не пропускал поляризованного света. Смотрите, что с ним делается, если мы сдавим его. Перед нами — поляризованный луч. Прежде всего я покажу вам, что стекло в обыкновенном своем состоянии не пропускает его. Вы видите, что экран остается темным, когда я вставляю этот кусок стекла на пути нашего луча света. Теперь г. Тиндаль сдавит этот кусок стекла между тремя маленькими острями, из которых одно приходится против двух других, для того, чтобы произвести натяжение в этих частях стекла, и вы увидите замечательный эффект этого. Смотрите! На экране постепенно появляются два белых пятна. Они показывают те места, где произведено натяжение: в этих местах сцепление действует иначе, нежели в остальных частях стекла, и потому свет получает возможность пройти через них. Не правда ли, этот опыт замечателен? Свет проходит через некоторые части стекла, тогда как другие части того же стекла не пропускают света, — и все это потому, что в некоторых местах ослабили силу сцепления между частицами стекла. Произведем ли

мы это изменение сцепления посредством механического натяжения или иным способом, результат получается один и тот же. Я покажу вам на новом опыте, что если мы нагреем одну часть стекла, то внутреннее строение ее изменится, и в результате произойдет действие, подобное тому, какое мы сейчас видели. Вот кусок простого стекла; если я вставлю его на пути поляризованного луча, то он не произведет светового эффекта, и экран останется совершенно темным. Далее я нагрею стекло на лампе, а вы сами знаете, что когда горячую воду льют на стекло, то в нем происходит внутреннее натяжение, иногда достаточное для того, чтобы оно лопнуло. (Это отчасти похоже на то, что мы видели в случае рупертовских капель). Я помещаю теперь нагретое стекло на пути поляризованного луча, и вы видите, что свет великолепно проходит через нагретые его части, вследствие чего на экране появляются светлые и темные линии, точно так же, как в некоторых кристаллах. Все это происходит вследствие произведенного теплотой изменения во внутреннем строении стекла; эти светлые и темные части на экране служат доказательством присутствия сил, действующих внутри тела и производящих натяжение в твердой массе его по различным направлениям¹.

Лекция III

Сцепление. Химическое сродство²

Вернемся на несколько минут к одному из опытов, произведенных вчера. Вы помните, что мы смешали квасцовый порошок с теплой водой: вот одна из употребленных при

¹ В настоящее время мощным средством анализа внутреннего строения веществ являются открытие в 1895 г. Рентгеном сильно проникающие лучи. Благодаря исследованиям Лауэ (1912 г.), Брэггов (1913 г.) и других удалось при помощи рентгеновских лучей блестящим образом выяснить внутреннюю структуру кристаллов. Рентгеновский анализ получил сильное распространение в медицине, в металлургии и металлообрабатывающей промышленности и пр.

² С точки зрения современной физики, силы сцепления, которые обуславливают жидкое и твердое состояние веществ и так наз. химическое сродство, являются главным образом электрическими силами. Атомы представляют собой системы, состоящие из частиц: так наз. протонов, отрицательных и положительных электронов,

этом чашек. С тех пор она осталась нетронутой, но вы видите, что в ней нет больше порошка, зато есть множество прекрасных кристаллов. Вот куски кокса, которые я положил в другую чашку: они покрыты множеством мелких кристаллов. Эту чашку я оставил нетронутой, не вылил из нее воду, потому что хочу показать еще другое действие частиц квасцов, кроме их соединения в кристаллы. Частицы эти оттолкнули от себя грязь и отложили ее около внешних краев кристаллов, лежащих внизу: они, так сказать, выдавили грязь вследствие сильного притяжения, которое частицы квасцов имеют друг к другу.

Перейдем теперь к другому опыту. Мы уже знаем кое-что о том, как частицы твердых тел притягивают друг друга, мы знаем, что это притяжение заставляет известковый шпат, квасцы и другие тела принимать правильные кристаллические формы. Теперь мало-помалу познакомимся с имеющимися у нас средствами для некоторого изменения силы этого сцепления; мы можем увеличить, уменьшить или даже, как может казаться на первый взгляд, совершенно уничтожить ее. Я беру железный прут длиной в два фута и около четверти дюйма в поперечнике. Он сейчас очень крепок благодаря сцеплению между собой его частиц. Но если г. Андерсон нагреет часть его докрасна, то мы увидим, что он станет мягок, так же как размягчается нагретый сургуч: чем больше нагревать прут, тем он станет мягче. Но что означает эта мягкость? Она означает, что притяжение между частицами настолько ослаблено, что оно не в состоянии более сопротивляться силе, которой мы действуем на прут. Г-н Андерсон передал мне железный прут, один конец которого нагрет до красного каления, вы видите, как легко я могу крутить этот конец щипцами, и

обладающих положительными и отрицательными зарядами. Кроме того ныне предполагают, что в состав атомных ядер входят также нейтральные частицы — нейтроны и ряд других.

Жидкое и твердое состояние тел и химическое соединение веществ зависит, в конечном счете, от взаимодействия электрических зарядов, хотя сила всемирного тяготения здесь также играет роль.

Электрическая природа сил химического сродства предполагалась еще современниками Фарадея, в частности Дэви и Берцелиусом. Сам Фарадей отмечает «замечательную теорию, предложенную сэром Гемфри Дэви и Берцелиусом, согласно которой обычное химическое сродство является следствием электрического притяжения между частицами вещества».

мне не стоит никакого труда согнуть его, тогда как сделать это с холодной частью прута невозможно. Вы все знаете, что кузнец берет кусок железа и накаливает его для того, чтобы сделать мягким и иметь возможность легко обрабатывать его для своих целей: он также старается уменьшить сцепление между частицами, хотя и не знаком в точности с законами этой силы.

Теперь рассмотрим другое явление. Я беру кусок льда. Как естествоиспытатели, мы употребляем слово «вода» даже тогда, когда она находится в газообразном или твердом состоянии. Почему вода находится в твердом состоянии? Это обусловлено сильным притяжением между частицами, достаточным для того, чтобы удержать их на месте, несмотря на действие сил на лед. Но что произойдет, если лед нагреть? В этом случае мы уменьшаем силу притяжения между частицами настолько, что твердое тело будет совершенно разрушено. Возьмем железный шар в два дюйма в поперечнике, накаленный докрасна; он может служить удобным источником теплоты. Этот шар я кладу на середину льда, и вы видите, что лед тает там, где железо прикасается к нему. Вы замечаете, что железо опускается в лед. А по мере того как часть твердой воды становится жидкой, теплота шара быстро теряется. Часть воды обращается в пар, иначе говоря, притяжение между частицами ее настолько уменьшается, что они не могут удерживаться даже в жидком состоянии и поднимаются в виде пара. Однако расплавить весь лед теплотой этого накаленного шара невозможно, так как он очень скоро оказывается совсем холодным.

Мы получили воду, уменьшив притяжение, существовавшее между частицами льда. Ниже известной температуры притяжение между частицами воды так увеличивается, что она переходит в состояние льда, между тем как выше известной температуры притяжение это настолько уменьшается, что вода обращается в пар. Совершенно то же самое происходит с платиной и почти со всеми другими телами природы: при повышении температуры до известного предела тело становится жидким, а при дальнейшем повышении оно обращается в газ. Разве не кажется нам замечательным, что вода морей, рек и т. д. в северных странах представляет собой твердый лед и ледяные горы, тогда как у нас, в более теплом климате, сила сцепления частиц воды настолько уменьшена, что вода обычно находится в жидком

состоянии. Итак, для уменьшения сцепления между частицами льда мы пользуемся еще одной силой, а именно теплотой¹. Хотелось бы, чтобы вы поняли, что сила теплоты действует во всех случаях, когда вода переходит из твердого состояния в жидкое. Каким бы образом ни растапливать лед, обойтись при этом без теплоты невозможно, хотя мы имеем средства превращать лед в жидкое состояние, не употребляя при этом теплоту непосредственно. Для примера я возьму оловянную фольгу и сложу ее в виде блюда. Я употребляю металлическое блюдо, потому что нам нужно, чтобы теплота, которая будет действовать при опыте, легко проходила через него. Я налью немного воды на стол и поставлю в нее оловянное блюдо. Теперь, если я положу в него немного льда и затем захочу превратить этот лед в жидкое состояние одним из различных способов, которые мы имеем для этого, то лед все-таки откуда-нибудь должен будет взять количество теплоты, необходимое для этого превращения; в данном случае он возьмет ее из блюда, в котором лежит, из воды, находящейся под блюдом, и от других окружающих его предметов.

Немного соли, прибавленной ко льду, способствует его таянию². Очень скоро мы увидим, что смесь станет жидкой, и вы заметите тогда, что вода, находящаяся под блюдом, совершенно замерзла, потому что вынуждена была отдать льду, перешедшему в жидкое состояние, ту теплоту, которая ей самой была необходима, чтобы оставаться жидкой. Помню, однажды, когда я был еще мальчиком, при мне в одном деревенском трактире был показан фокус. Дело заключалось в том, чтобы растопить у огня лед в сосуде так, чтобы сосуд примерз при этом к столу. Этот вопрос был решен так: в оловянную чашку положили толченого льда и прибавили к нему немного соли. Мне ничего не сказали насчет прибавленной ко льду соли, а чашку поставили

¹ Теплота представляет собой, главным образом, хаотическое движение молекул и атомов. Чем выше температура, тем больше средняя скорость движения молекул и атомов. При нагревании, когда скорость переходит известные пределы, происходит сжижение, а затем парообразование и, наконец, разложение (диссоциация) самого вещества, если оно химически сложное.

² Соль понижает температуру соляного раствора и температуру его замерзания. Поэтому лед, имеющий температуру 0°, тает при прибавлении соли, но полученная полужидкая смесь имеет температуру ниже 0°, так что чистая вода, соприкасающаяся со смесью, замерзает.

близ огня, для того чтобы сделать опыт более поразительным. И вот, когда соль и лед перемешались, лед стал таять, и в результате очень скоро чашка примерзла к столу, совсем так, как это сейчас произойдет в нашем опыте. Все это получается оттого, что соль имеет способность уменьшать силу сцепления между частицами льда. Вы видите, что блюдо примерзло у нас к доске: я даже могу приподнять доску, взявшись за блюдо.

Этот опыт свидетельствует о том, что всякий раз, когда твердое тело теряет известную часть той силы сцепления, благодаря которой оно находится в твердом состоянии, поглощается некоторая теплота: наоборот, когда жидкое тело превращается в твердое, например вода в лед, соответствующее количество теплоты освобождается. Следующий опыт убедит вас в этом.

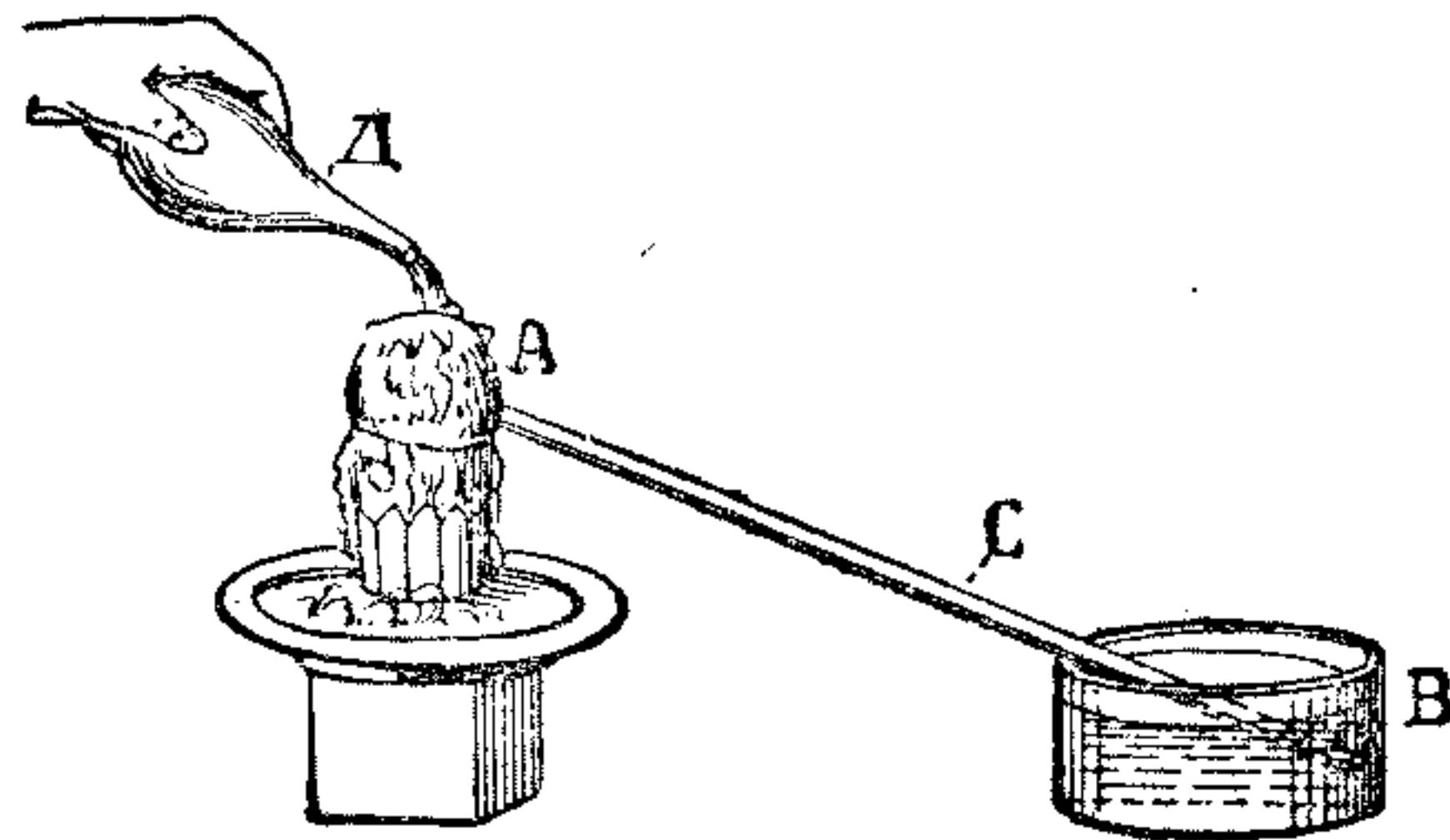


Рис. 21.

Вот колба А (рис. 21), наполненная воздухом. Трубка, один конец которой соединен с этой колбой, погружена другим концом в окрашенную жидкость, налитую в сосуд В. Если я положу мою руку на колбу А и таким образом нагрею ее, то окрашенная жидкость, стоящая теперь в трубке у С, поведется вперед к сосуду В. Тщательные исследования свойств различных тел дали нам возможность приготовить раствор соли¹, который при сотрясении или приведении в движение немедленно переходит в твердое состояние. Как я только-что объяснял (ибо то, что справедливо относительно воды, справедливо и относительно всякой другой жидкости), при замерзании раствора должна выделиться теплота, что можно наблюдать на опыте, выливая раствор на колбу А. Раствор твердеет, и мы видим, как цветная жидкость вытесняется из трубки и выходит пузырьками в сосуд В. Этот опыт указывает на замечательный закон природы, утверждающий, что при уменьшении притяжения сцепления

¹ Насыщенному или почти насыщенному раствору уксусно-кислого натра, при точке кипения, дают простыть и оставляют в покое до опыта (К).

теплота поглощается, между тем как при увеличении этого притяжения теплота выделяется¹.

Таким образом, вы узнали еще один важный закон, кроме простой истины, что частицы притягивают друг друга. Не думайте, что тела в жидком состоянии вовсе не имеют притяжения сцепления². Вот жидкая ртуть: если я буду переливать ее из одного сосуда в другой, то вы увидите, что она образует непрерывную струю, идущую от бутылки до стакана, в который я наливаю ее; это показывает, что между частицами жидкой ртути достаточно притяжения для того, чтобы сдерживать их вместе, на всем пути перехода их через воздух от сосуда до стакана³.

Если я осторожно буду выливать из кружки воду, то я могу заставить ее течь непрерывной струей. Теперь я налью немного воды на маленькую стеклянную пластинку, затем положу на нее другое такое же стеклышко так, чтобы между ними находилась вода. Смотрите! Верхняя пластинка может двигаться совершенно свободно по нижней, скользить по ней по различным направлениям; но если я прямо приподниму верхнюю пластинку, то благодаря сильному сцеплению нижняя пластинка удержится в соединении с нею и также приподнимется. Вы видите, как она поднимается вместе с верхней пластинкой. Все это происходит вследствие сильного притяжения между частицами воды⁴. Покажу еще один опыт. Беру немного мыла и воды (я прибавляю мыло к воде не потому, чтобы оно увеличило притяжение между ее частицами, а потому, что оно

¹ Иначе говоря, для сжижения необходимо увеличить тепловое движение частиц вещества, для получения твердого тела — уменьшить.

² Силы сцепления, действующие между частицами жидкости, образуют на поверхности тонкую, молекулярных размеров, пленку, так наз. пленку поверхностного натяжения. Эта упругая, подобно резине, пленка оказывает на жидкость значительное давление. Наличие такой пленки можно обнаружить, осторожно кладя на поверхность жидкости иголку: иголка держится на поверхности и не тонет.

³ На самом деле струя вытекающей жидкости является сплошной лишь у самого отверстия, в дальнейшем она распадается на отдельные большие и малые, изменяющие свою форму капли, которые можно обнаружить, например, моментальным фотографированием струи.

⁴ Здесь и в других опытах играет роль поверхностное натяжение (см. прим. 2).

имеет способность делать это притяжение более непрерывным) и выдуваю мыльный пузырь. Кстати, позвольте дать вам совет: при опытах с мыльными пузырями будьте осторожны, чтобы все вокруг не оказалось мыльным. Чтобы иметь возможность дуть и в то же время говорить с вами, я возьму блюдо с небольшим количеством мыльной воды, намылю край трубки и выдуваю пузырь на самом блюде. Ну, вот наш пузырь. Почему он сохраняет шарообразный вид? Конечно, потому, что между частицами воды, из которой он состоит, притяжение столь сильно, что оно может придать

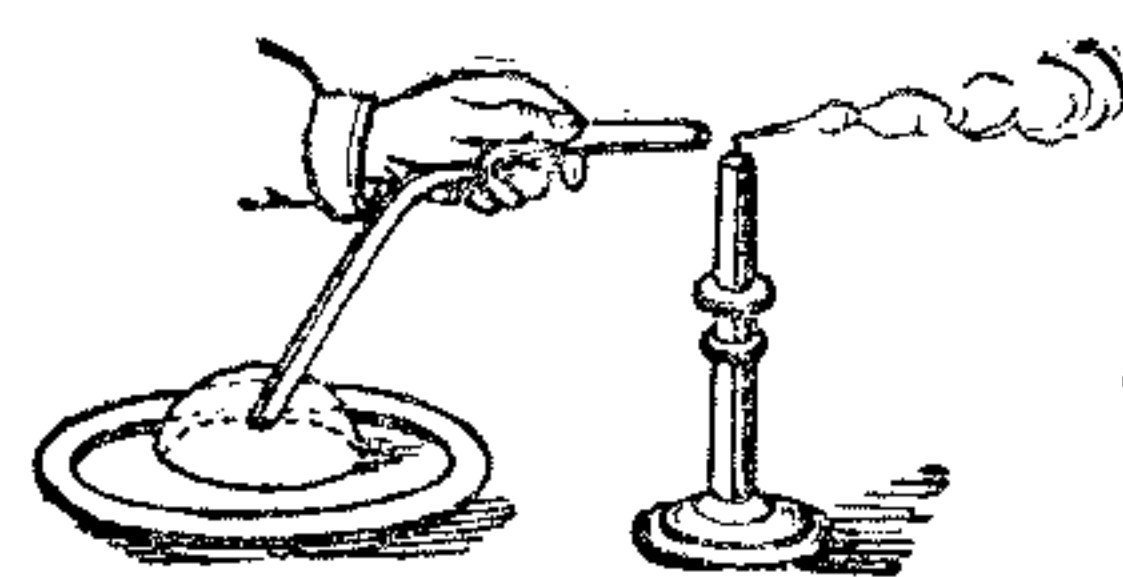


Рис. 22.

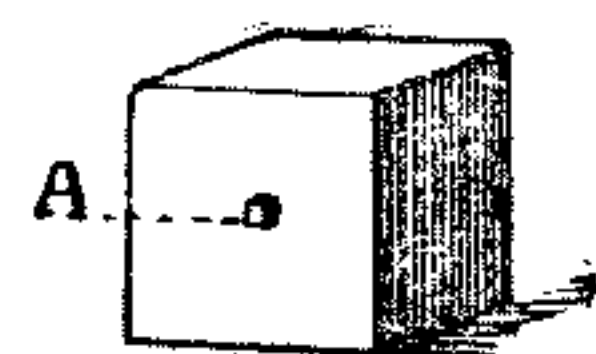


Рис. 23.

этому мыльному пузырю некоторые свойства резинового шара. Вы видите, что если я вдвину в пузырь конец стеклянной трубки, то оказывается, что пузырь обладает способностью так сильно со-

кратиться, что из него через трубку вытесняется достаточно воздуха для того, чтобы задуть свечу.

Свеча задута, а пузырь исчезает, становясь все меньше и меньше (рис. 22).

Я бы мог сделать двадцать других опытов для того, чтобы показать вам силу сцепления между частицами жидкостей. Что, например, посоветовали бы вы мне сделать, если бы я потерял пробку от этой бутылки со спиртом и мне необходимо было бы поскорее заткнуть ее чем-нибудь находящимся под рукой. Кусок бумаги не годится для этого, но мы можем употребить кусок полотна или хлопка: я помещу клочок хлопка в горло бутылки со спиртом, и при опрокидывании ее вы увидите, что она вполне хорошо закупорена, — воздух может проходить через хлопок к спирту, но спирт не может проникать через него.

Очевидно, что если бы не существовало сцепления между частицами жидкости, то спирт вылился бы из бутылки. Если бы у меня было довольно времени, то я мог бы показать вам сосуд, дно и крышка которого устроены наподобие сита, тем не менее такой сосуд удерживает в себе воду благодаря сцеплению между частицами¹.

¹ Благодаря наличию поверхностного натяжения жидкость при соприкосновении с проволочными фигурами образует упругие пластинчатые пленки значительной устойчивости.

Если бы я имел бутылку с маслом, то мог бы употребить тот же прием. В прежнее время, действительно, присылали в Англию масло из Италии в бутылках, закупоренных одним только хлопком (в настоящее время этот способ не применяется).

Вы сейчас видели, как действием теплоты можно обратить воду из твердого состояния в жидкое, потому что это действие уменьшает силу притяжения между частицами воды; однако теперь вы видите, что в воде остается довольно много этого притяжения.

Пойдем дальше. Мы видели, что если продолжать сообщать воде теплоту, то (как случилось с нашим куском льда), наконец, уничтожается и притяжение, удерживающее воду в жидком состоянии. Чтобы показать вам, что произойдет, когда это притяжение будет разрушено, я возьму немного эфира (всякая другая жидкость одинаково годится для этого опыта, но эфир для этой цели всего удобнее). При очень сильном охлаждении жидкого эфира он становится твердым, при нагревании же он обращается в пар. Мне хочется показать вам огромный объем, занимаемый веществом в этом новом состоянии. Когда мы обращаем лед в воду, объем его уменьшается, но когда превращаем воду в пар, то объем ее увеличивается в громадных размерах¹. Вы можете видеть, что, сообщая теплоту жидкому эфиру, я уменьшаю притяжение между его частицами: теперь жидкость кипит. Я зажгу выделяющиеся из нее пары, чтобы дать вам возможность судить по величине пламени о пространстве, занимаемом эфиром в состоянии пара. Вы видите, какое огромное пламя я получаю из небольшого количества эфира, находящегося внизу. Теплота, сообщаемая спиртовой лампой, употребляется теперь не на нагревание эфира, а на обращение его в парообразное состояние. Если бы я пожелал собрать этот пар и сгустить его, что легко можно сделать, то мне пришлось бы поступить точно так же, как если бы я хотел обратить водяной

¹ Фарадей имеет в виду здесь воду, которая при нагревании от 0° до 4° сжимается. Однако в настоящее время известен ряд других тел, обнаруживающих подобного рода аномалии. Так, минерал иодрит (иодистое серебро) сжимается при нагревании от 60° до 142°. Кроме того новейшие космологические исследования обнаружили тот факт, что сверхвысокая температура вызывает сильное сжатие, а не расширение звезд, так наз. белых карликов, например спутника Сириуса.

пар в жидкую воду и воду в лед: в обоих случаях необходимо увеличить притяжение между частицами посредством холода или другим способом. Объем, занимаемый частицами тела, так увеличивается вследствие ослабления притяжения, что если бы я взял один кубический дюйм воды (А, рис. 23), то получил бы из него 1700 куб. дюймов (В, рис. 23) пара,—так сильно уменьшается притяжение сцепления от действия теплоты. Тем не менее пар все же остается водой. Вы легко можете себе представить последствия изменения объема вследствие нагревания—могущественную силу пара и страшные взрывы, которые иногда производит эта сила. Теперь я сделаю другой опыт, который еще нагляднее покажет объем, занимаемый телом, когда оно переходит в парообразное состояние. Перед нами вещество, называемое иодом¹. Я подвергну его тому же действию теплоты, как и эфир, для чего помещаю несколько кусочков иода в нагретый стеклянный шар. Шар немедленно наполнится фиолетовым паром: очевидно, с иодом произошла такая же перемена, как с эфиром. Этот опыт дает нам кроме того возможность видеть красивый фиолетовый цвет пара, получаемого от нашего черного вещества. Строже говоря, шар содержит теперь смесь пара с воздухом (не думайте, что этот шар весь наполнен только парами иода).

Если бы я взял ртуть и обратил ее в пар, что легко сделать, то получил бы совершенно бесцветный газ. Надо вам сказать, что тела, находящиеся в так называемом парообразном или газообразном состоянии, всегда совершенно прозрачны, никогда не имеют вида облаков или дыма. Правда, они часто бывают окрашены, как вы сейчас увидите на опыте. Нередко можно получить цветные пары или газы путем смешения частичек, которые сами-по-себе бесцветны. Я беру стеклянный цилиндр, наполненный газом—перекисью азота², и опрокидываю его над цилиндром, на-

¹ Иод, так наз. металлоид, открытый Куртуа, Клемансом, Гей-Люсаком и Дэви (1811—1814 гг.), добывается из золы морских водорослей и из маточных рассолов при выделении чилийской селитры. Атомный вес иода—126,9.

² Перекись азота готовят, обливая медные стружки азотной кислотой с небольшой примесью воды. Реакция требует подогрева. Соприкасаясь с воздухом, перекись азота немедленно образует густые красные пары вследствие соединения с кислородом воздуха для образования азотноватой кислоты. Перекись азота состоит из двух частей кислорода и одной части азота; азотноватая кислота состоит из трех частей кислорода и одной части азота (К).

полненным другим газом, кислородом. При этом образуются темнокрасные пары азотноватой кислоты. На этом опыте вы видели прекрасный пример действия некоей силы природы, до изучения которой мы еще не дошли, но которая стоит на очереди в нашем списке, как сила «химического сродства». Итак, вы видели, что можно получить фиолетовые, оранжевые или другого цвета пары, но все они совершенно прозрачны, иначе они перестают быть парами.

Теперь я предлагаю пойти дальше простого рассмотрения притяжения между частицами. Мы знаем, что, например, воду мы всегда должны рассматривать именно как воду, будет ли она находиться в виде льда, воды или пара. Имеются разные средства для изучения строения воды, кроме того, что дает действие теплоты: самое важное из них—сила, называемая Вольтовым электричеством¹, которой мы воспользовались в прошлой нашей беседе, чтобы произвести свет. Эта сила передавалась по комнате посредством проводов, а производилась она батареей, стоящей позади меня.

Сейчас займемся этим маленьким сосудом С (рис. 24), в который налита вода: кроме воды в нем находятся два платиновых листа, соединенных с проводами А и В, приходящими снаружи. Я хочу исследовать состав этой воды, состояние и условия расположения ее частиц. Если бы мы стали нагревать ее, то, как вы знаете, она обратилась бы в пар, оставшись тем не менее водой: пар снова перешел бы в жидкое состояние, как только теплота была бы удалена. Провода, идущие от батареи, предоставляют в наше распоряжение некоторое количество новой силы: соединяя концы этих проводов, мы получаем электрический свет, которым мы пользовались вчера. Посредством проводов мы можем заставить эту силу действовать на воду. Пользуясь проводами А и В, я соединяю провода, идущие от батареи, с металлическими листами, находящимися в сосуде С. Вода

¹ После того как Гальвани открыл около 1791 г., что металлы, в частности разнородные, при соприкосновении с различными частями животного организма (лягушки) обнаруживают наличие электрических напряжений, Вольта построил в 1799 г. первый гальванический элемент, так наз. Вольтов столб. Сам Гальвани думал, что он имеет дело с так наз. животным (физиологическим) электричеством. Вольта защищал так наз. контактную теорию. На самом деле Гальвани наблюдал электричество как физиологического, так и химического происхождения. Против контактной теории Вольты выступал Фарадей в защиту химической теории.

в этом маленьком сосуде начинает кипеть, вы слышите журчание газа, проходящего через трубку *D*, и замечаете, как он поднимается в сосуде, наполненном водой. Я превратил эту воду в газ. Если я возьму маленький сосуд *E*, наполню водой и вставлю в него конец трубки *D*, то вы увидите, как в воду входят пузырьки газа. Между тем это не водяной пар, так как мы знаем, что если водяной пар привести в соприкосновение с холодной водой, то он сей-

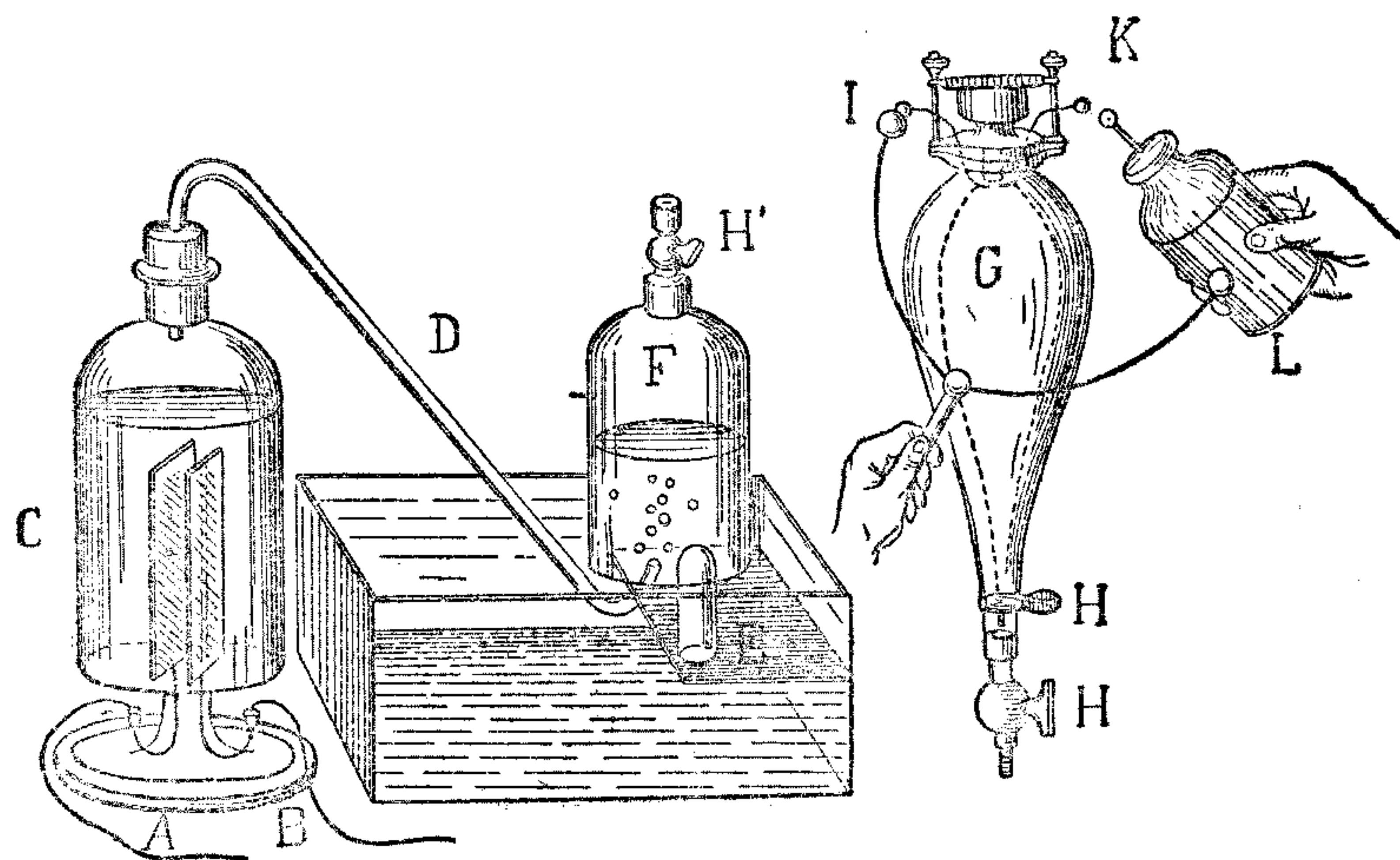


Рис. 24.

час же сгущается и переходит в жидкое состояние. Выделяющийся газ не может быть поэтому водяным паром, ибо он без изменения проходит через холодную воду, но он все-таки имеет вид пара, и мы должны тщательно рассмотреть его, чтобы видеть, что же произошло с водой¹.

Чтобы еще более убедить вас в том, что это не водяной пар, я покажу вам, что выделившееся вещество может гореть. Если я поднесу сосуд к пламени, внутри его произойдет взрыв, чего не могло бы случиться с паром.

¹ Разложение воды на кислород и водород при помощи разряда статического электричества было впервые произведено в 1789 г. голландцами Труствиком и Дайманном. Разложение воды гальваническим током впервые осуществили в 1789—1790 гг. Ритер, Никольсон и Карлейль.

Теперь я наполняю этот большой стеклянный колокол *F* водой и дам газу подняться в него. Из собранного таким образом газа мы можем снова получить воду. Вот крепкий стеклянный сосуд *G*. Я впускаю в него газ из колокола *F*, затем воспламеним этот газ посредством электрической искры, после чего обнаружится, что опять получилась вода¹. Впрочем из газа получится очень немного воды: вы помните, какое малое количество воды дает огромный объем пара.

Г-н Андерсон выкачает воздух из сосуда *G*, затем я привинчу этот сосуд наверху колокола *F*, и вы увидите, как вода станет подниматься в колоколе, лишь только будут открыты краны *H, H, H*. Это показывает, что часть газа перешла в верхний стеклянный сосуд. Теперь я запираю краны: мы можем пропустить электрическую искру через газ с помощью проводов *I, K*, находящихся в верхней части сосуда *G*, и увидим, что газ горит очень ярким пламенем. Г-н Андерсон принес так называемую лейденскую банку; посредством проводов *I* он разряжает эту банку через газ в сосуде *G*. Смотрите, вот пламя. Чтобы показать вам, что при этом весь газ исчез, стоит только опять привинтить сосуд *G* к колоколу, открыть сообщающие краны, и газ вторично наполнит сосуд *G*, и мы можем произвести новое сожжение газа. Мы могли бы повторить это действие сколько угодно раз и собирать таким образом воду, в которую снова обращается газ. В сосуде *C* мы можем превратить воду в большой объем так называемого постоянного газа² и газ этот снова превратить в воду посредством искры, производимой лейденской банкой. Г-н Андерсон принес другую лейденскую банку. Но что это? Почему-то она не зажигает газа? А, вот в чем дело! Ее нужно перезарядить, что и делает сейчас г. Андерсон. Теперь она зажигает газ, как нам нужно. Видите, как замечательны результаты опытов, если только их правильно делать. В ошибках виновны обычно мы сами, а не природа. Теперь я положу сосуд в сторону, чтобы вы могли рассмотреть его: по стенкам его стекает образовавшаяся вода в очень не-

¹ Первый синтез воды при помощи электрической искры был произведен Пристли в 1783 г. В 1783—1784 гг. Лаплас, Кавендиш и Лавуазье получили воду, первые два — пропуская водород через накалившую окись железа, последний — простым сжиганием в атмосферном воздухе.

² См. прим. 2 на стр. 32.

значительном количестве, но все же достаточно, чтобы можно было ее видеть.

В этом способе изменения состояния воды замечательно еще и то, что он дает нам возможность отделить одну от другой части, из которых вода состоит, собрать каждую из них отдельно и определить, каковы они и сколько каждой из них. Чтобы проделать этот опыт, беру прибор (рис. 25), немного отличный от первого. В него налита вода: если я соединю этот прибор с помощью проводов АВ с батареей, то получу такое же разложение воды у двух платиновых

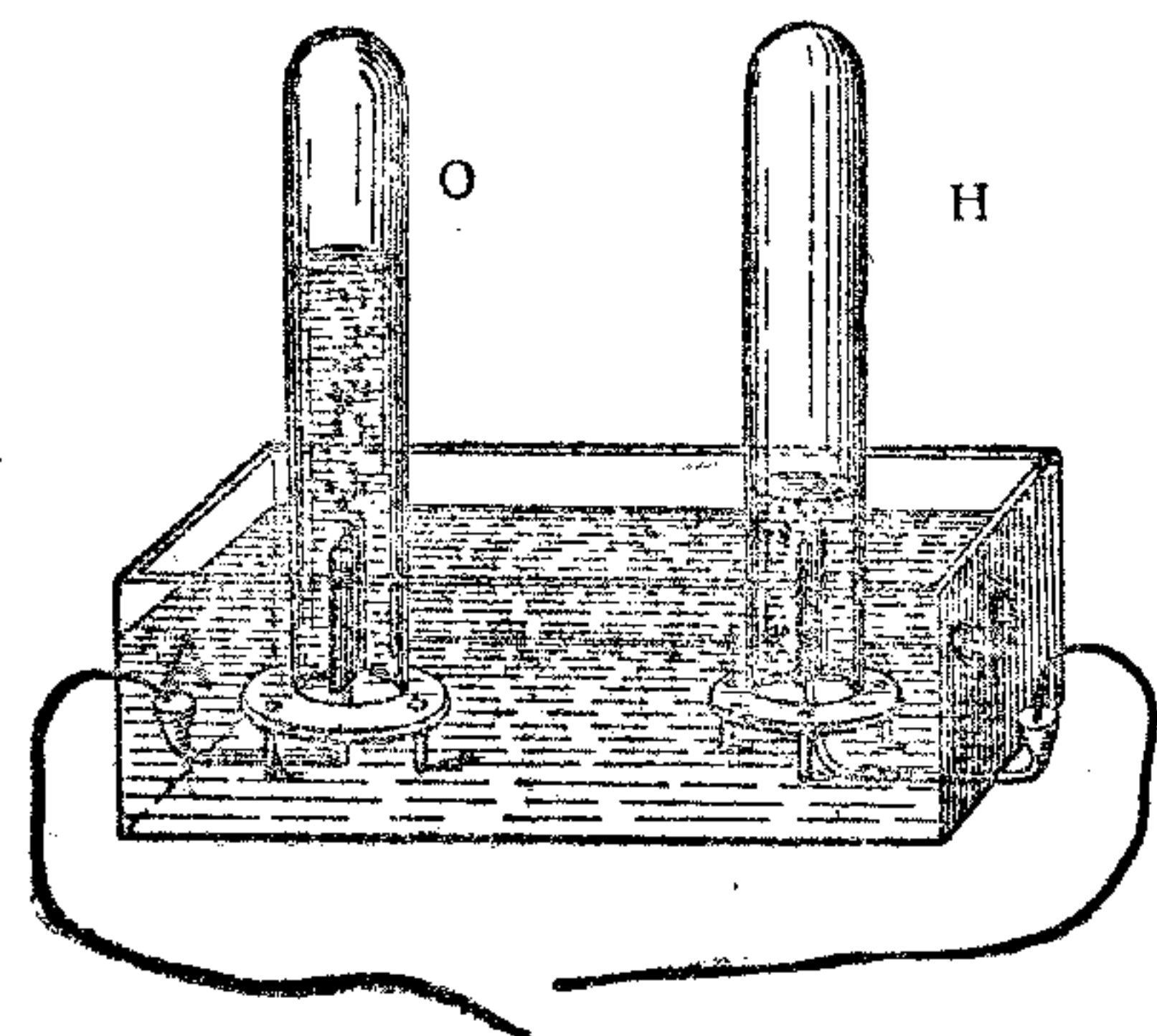


Рис. 25.

листочков, как прежде. Теперь я поставлю маленький колокол *O* над одним из листочков; в нем соберется газ, выделяющийся у *A*. Над другим я поставлю другой маленький колокол (*H*), в нем соберется газ, выделяющийся у *B*. Полагаю, что мы скоро сможем видеть различие между этими газами. В этом приборе провода далеко раздвинуты один от другого, и, повидимому, каждый из них способен

отделить частицы от воды и посылать их в сторону. Вы замечаете, что один род частиц (в *H*) выделяется вдвое изобильнее, нежели другой, собирающийся в *O*.

Здесь в *H* из воды выделяется некий газ, способный гореть. Вы видите, как он вспыхивает, когда я подношу к нему спичку. Между тем газ, выделяющийся из воды в *O*, хотя сам не горит, но сильно поддерживает горение. Я ввожу в этот газ спичку с тлеющим концом, и она немедленно вновь загорается в нем.

Итак, у нас два вещества: ни одно из них само-по-себе не есть вода, но получаем мы их из воды. Отсюда можно сделать вывод, что вода состоит из двух веществ, отличных от нее и появляющихся в различных местах, когда мы подвергаем воду действию силы, имеющейся в проводах, идущих от батареи. Вы видите, что газ, собирающийся в колоколе *H*, совершенно отличен от того газа, который мы собирали в прежнем приборе (рис. 24). Тот газ при зажи-

гании производил громкий взрыв, этот же горит без всякого шума. Этот газ называется водородом¹. Другой газ, который тоже сильно поддерживает горение, но сам не горит, называется кислородом. Итак теперь мы узнали, что вода состоит из двух родов частиц, причем притяжение между этими разными частицами действует совершенно иначе, нежели притяжение тяготения или сцепления; этот род притяжения мы называем «химическим сродством», или силой химического действия между различными телами. Здесь мы имеем дело уже не с притяжением железа к железу, воды к воде, дерева к дереву или вообще любых двух одинаковых веществ, как при изучении силы сцепления, а это другой вид притяжения — притяжение между частицами, различными по природе своей друг от друга. Химическое сродство всецело зависит от энергии²,

¹ Водород был открыт еще в XVI в. Парацельсом, но его долгое время не отличали от других горючих газов. Природа водорода была впервые установлена Кавендишем в 1783 г. Химически соединенный водород составляет 11% воды. Является существенной составной частью всех кислот. В соединении с углеродом он содержится в различных природных газах, в нефти, а также входит в состав всех животных и растительных тел. В промышленном масштабе он получается как побочный продукт при электролизе водного раствора поваренной соли в связи с приготовлением едкого натра. Водород бесцветен, не имеет вкуса и запаха, плотность по отношению к воздуху — 0,0695, вес одного кубометра — 0,08987 г (при 0° и 760 мм давления), точка кипения под атмосферным давлением — 252,8°, точка плавления (под давлением в 58 мм) — 257°, в 14,5 раза легче воздуха, поэтому в воздухе он стремится кверху и употребляется для наполнения аэростатов. В настоящее время предполагают, что все химические элементы имеют в своей основе ядро атома водорода. Такого рода предположение было впервые высказано английским химиком Праутом (1786—1850 гг.). Атомы всех химических элементов состоят из электрически заряженных частиц — протонов и электронов (также позитронов и нейтронов), атом же водорода является простейшим, он состоит из одного протона и одного электрона, обращающегося по некоторой орбите вокруг протона. Химические элементы характеризуются атомным весом по отношению к атому водорода, зависящим от числа протонов (и электронов): водород — 1, кислород — 16, углерод — 12, железо — 56 и т. д. Кроме того физические и химические свойства элементов зависят от числа и расположения электронов. Число внешнерасположенных и обращающихся вокруг ядра электронов называется атомным номером, и этот номер еще более характерен для химического элемента, нежели атомный вес.

² Здесь мы впервые встречаем у Фарадея термин энергия (energy), употребленный в том же смысле, что и термин сила. Напомним, что последний термин употребляется Фарадеем в двойном

с которой разнородные частицы притягивают друг друга. Кислород и водород — это частицы разнородные; соединяясь химически благодаря взаимному притяжению, они образуют воду¹.

Постараемся познакомиться подробнее с химическим сродством. Кислород и водород можно готовить и из других веществ, кроме воды. Сейчас я приготовлю немного кислорода. Вот вещество, содержащее кислород, — хлорнокислый калий². Я положу немного этого вещества в стеклянную реторту, которую г. Андерсон потом нагреет. Здесь мы имеем несколько колоколов, наполненных водой: эту воду мы вытесним из сосудов и заменим газом, выделяющимся из хлорнокислого калия при действии на него теплоты.

Когда мы разлагаем воду на ее составные части действием гальванической батареи, то не придаем и не отнимаем от нее никакой материи (я говорю о материи, а не о силе), вода изменяется лишь так, что водород, горение которого вы сейчас видели, выделяется в известном объеме, а кислород выделяется в объеме, равном половине объема выделяемого в то же время водорода. Значит, изображенные здесь два четырехугольника представляют состав воды, т. е. постоянное отношение между составляющими ее газами.

1	8	
	Кислород	
Водород		

Кислород	88,9%
Водород	11,1%
Вода	100,0

Кислород в 16 раз тяжелее водорода, и хотя из воды выделяется его лишь половина объема сравнительно с водородом, но она весит в 8 раз больше выделяющегося в это же

смысле, иногда в смысле Ньютона (сила, обуславливающая ускорение, и статическая сила) и чаще всего в смысле современного понятия энергии.

¹ В настоящее время силу всемирного притяжения также отличают от сил сцепления и сил химического сродства, хотя некоторые ученые пытались и пытаются свести силу тяготения к электрическим силам.

² Бертолетова соль (KClO₃).

время объема водорода¹. Вам теперь ясно будет, что на девять весовых частей воды приходится одна весовая часть кислорода и восемь весовых частей водорода. Так напр.:

Водорода	46,2 куб. дюйма		1 гран ²
Кислорода	23,1	»	8
Воды (пара)	69,3	»	9 гран

Рассмотрим, каковы же свойства кислорода. Я уже сказал вам, что этот газ не горит, но поддерживает горение других тел. Я зажгу конец деревянной щепки и опущу ее в сосуд, наполненный кислородом, и вы увидите, как газ усиливает яркость горения щепки. Кислород сам не горит, не воспламеняется подобно водороду, но зато в нем ярко горит щепка. Если я зажгу восковую свечку и опрокину ее в воздухе, она непременно погаснет вследствие избытка воска, стекающего на фитиль. Этого не случится в кислороде. Я опять зажигаю восковую свечу и, опрокинув ее, опускаю в сосуд с кислородом (рис. 26).

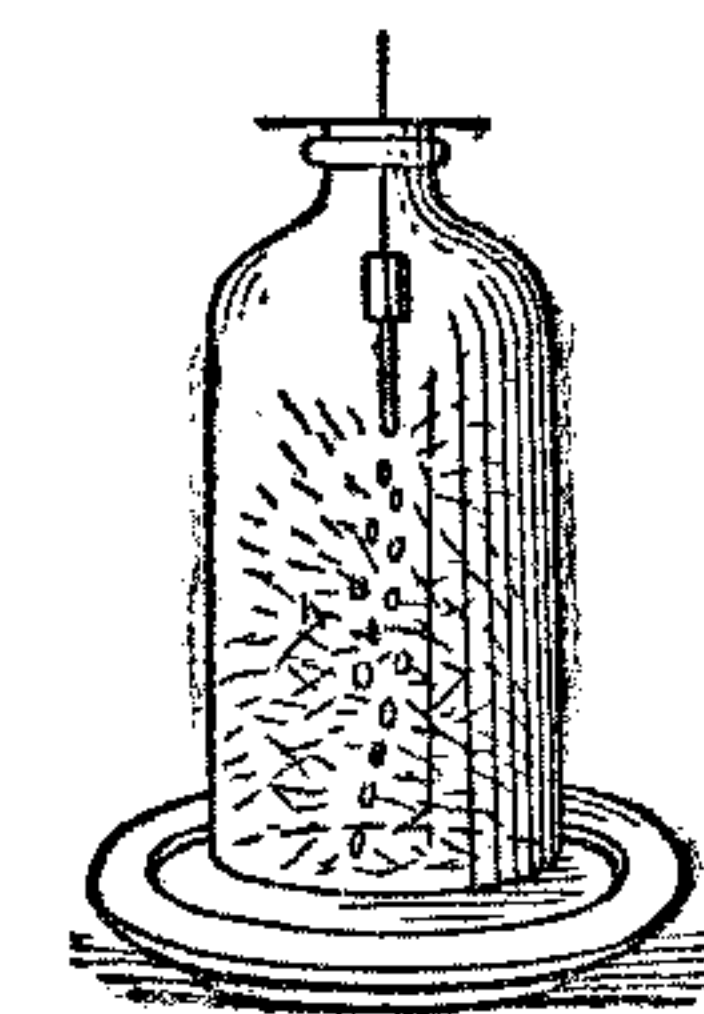


Рис. 26.

При этом мы увидим, что воск горит и падает на дно сосуда в виде ослепительного огненного потока. Так сильно кислород поддерживает горение. Я покажу вам еще один опыт, который продемонстрирует силу кислорода (если можно так выразиться). У меня здесь кольцообразное спиртовое пламя: оно даст возможность посмотреть, как горит железо, и сравнить влияние воздуха и кислорода на это пламя, выступающее через сито. Мелкие железные опилки загораются в этом пламени и, сверкая, падают вниз. Теперь я буду держать пламя над сосудом с кислородом и повторю тот же опыт. Опилки с невыносимым блеском будут гореть, падая в пламя. Видите, как различны действия воздуха и кислорода.

¹ В газообразном состоянии кислород, подобно воздуху, не имеет ни цвета, ни вкуса, ни запаха. Атомный вес — 16. Жидкий кислород имеет бледносинюю окраску. Вес 1 литра газообразного кислорода при атмосферном давлении — 1,4290 г. Приблизительно 50% вещества земной коры приходится на долю кислорода. В воде заключается 89% кислорода, в человеческом теле — 60%. Одну пятую часть по объему воздуха составляет свободный кислород. Кислород открыт Пристли (1774 г.) и Шееле (1775 г.). Жидкий кислород впервые получен в 1877 г. физиками Кальете и Пикте.

² Один английский гран соответствует 64 мгм.

Лекция IV

Химическое средство. Теплота

Кроме притяжения между частицами воды, сдерживающего ее в виде твердого или жидкого тела, в воде имеется еще другая сила, отличная от силы сцепления, — сила, которую мы вчера преодолели посредством Вольтовой батареи, получив из воды два различных вещества. При нагревании посредством электрической искры эти вещества, как мы видели, притягивают друг друга, опять соединяют-

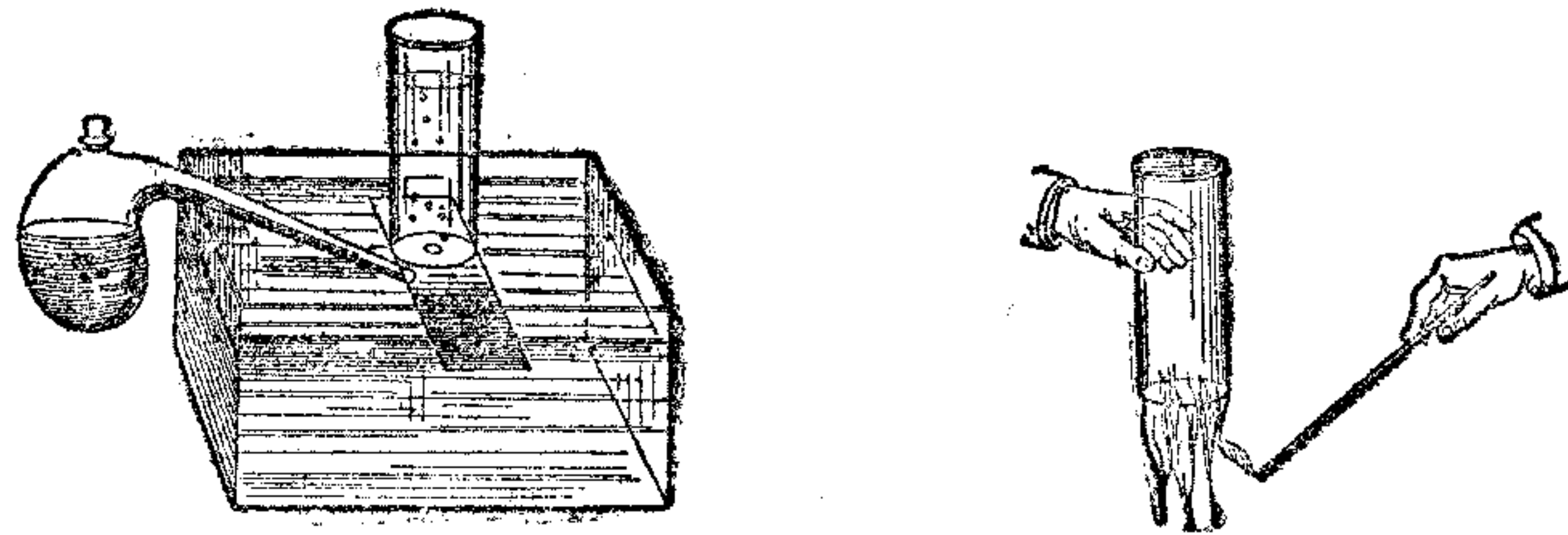


Рис. 27.

ся между собой и образуют воду. Вчера мы рассмотрели одну из составных частей воды — кислород. Теперь постараемся ознакомиться с другой составной частью воды — с водородом. Он получил это название потому, что участвует в порождении воды¹. Я кладу в реторту (рис. 27) немного цинка, воды и серной кислоты, и немедленно начинается действие, в результате которого возникает много газа, выходящего в сосуд над водой и поднимающегося в нем в виде пузырьков подобно кислороду, добытому нами вчера.

Эти два процесса совершенно различны, хотя результат у них один и тот же, поскольку он дает нам некие газообразные частички. Мы получили водород. Вчера мы узнали некоторые свойства этого газа, теперь позвольте мне познакомить вас с другими его свойствами. Водород может го-

¹ По-английски «hydrogen», что соответствует греческим: идор — «вода» и генао — «побеждаю».

реть, этим он отличается от кислорода, который только поддерживает горение других тел, но сам не горит¹. Вот сосуд, наполненный водородом. Если я поднесу к нему пламя, то вы увидите, что газ загорится, хотя не ярким пламенем; вы во всяком случае услышите, что он горит, если и не увидите пламени. Итак, водород совершенно отличен от кислорода. Он чрезвычайно легок: вы видели вчера, что хотя при действии гальванической батареи на воду в одном колоколе собирается водорода по объему вдвое больше, чем кислорода в другом, тем не менее вес этого двойного объема водорода составляет лишь $\frac{1}{8}$ веса образовавшегося при этом в то же время кислорода. Я держу сосуд с водородом в опрокинутом положении. Почему? Потому что я знаю, что водород очень легок и удерживается в опрокинутом сосуде так же хорошо, как вода удерживается в сосуде, стоящем прямо².

Я могу переливать воду из одного сосуда в другой, находящийся в прямом положении, точно так же я могу переливать водород из одного сосуда в другой, если этот сосуд находится в опрокинутом положении. Проведем этот опыт: сейчас в опрокинутом сосуде водорода нет (рис. 28). Я осторожно подставляю под него сосуд, наполненный водородом. Посмотрим, в каком из двух сосудов окажется водород. Приближая свечу к обоим сосудам, находим, что в том сосуде, в котором водород находился прежде, его больше нет, — он переместился вверх в другой сосуд, где мы и обнаружили его.

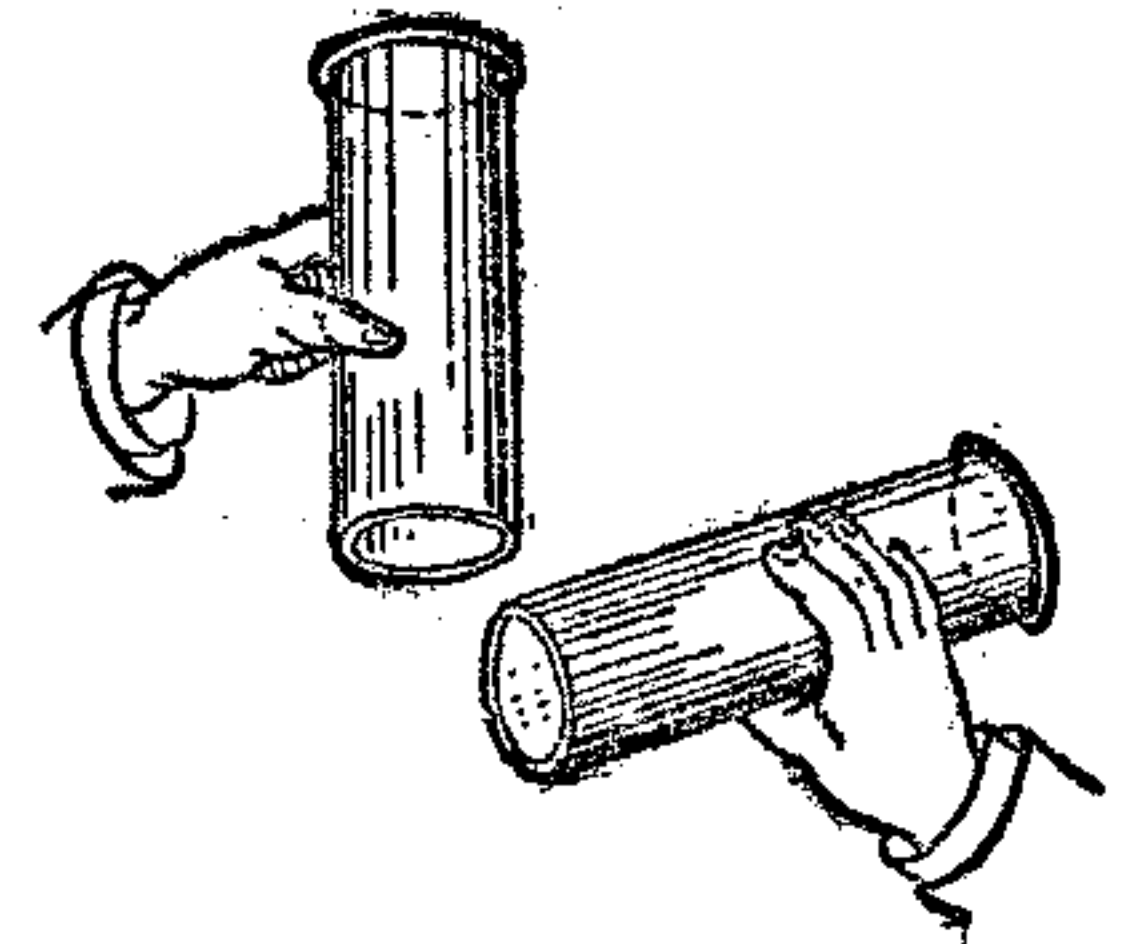


Рис. 28.

¹ Процесс горения является процессом окисления, т. е. химического соединения веществ с кислородом. При некоторых условиях (тихий разряд электричества, действие ультрафиолетовых лучей) кислород (молекулы O_2) также способен «гореть». Он превращается тогда в озон (молекулы O_3).

² Водород, как самый легкий из химических элементов, употребляется при наполнении воздушных шаров и дирижаблей. Это представляет известную опасность вследствие горючести водорода, так что в настоящее время предпочитают употребление гелия, который в 4 раза тяжелее водорода, но представляет собой так наз. инертный или благородный газ, с большим трудом вступающий в химические соединения.

Вес равных объемов разных тел

Название тел	Принимая водород за единицу веса	Принимая воздух за единицу веса	Принимая воду за единицу веса
Водород	1	—	—
Воздух	14,4	1	—
Вода	11943	829	1
Платина	256774	17831	21,5

Кислород и водород, соединяясь между собой, образуют воду: вы видели огромное различие между объемом и видом образованной таким образом воды и объемом и видом частиц, из которых она состоит. До сих пор еще нам не удалось обратить водород или кислород в жидкое состояние¹, а между тем первое побуждение этих тел при их химическом соединении — перейти в жидкое, а затем и в твердое состояние. Мы не можем соединить эти различные частицы без того, чтобы при этом не получалась вода. Забавно подумать, как часто, но бессознательно, каждый из вас делал опыт соединения кислорода с водородом и образования воды. Возьмите, например, свечу и чистую серебряную ложку или кусок чистого олова; если вы будете держать ложку или олово над пламенем, то увидите, что они немедленно покрываются каплями росы (не пара), которые затем испаряются.

Следующий опыт покажет это еще яснее. Г-н Андерсон поставит свечку под стеклянным колоколом, и вы увидите, как скоро при этом образуется вода (рис. 30), как стенки колокола запотевают: скоро на них образуются капли, которые потекут на блюдо, поставленное под колокол; туман на стенках и капли — не что иное, как вода, образующаяся вследствие соединения кислорода воздуха с водородом, находящимся в воске свечки.

¹ Кислород, а также водород были сжижены в 1877 г. Кальете и Пикте, жидкий водород в большом количестве был получен Дьюаром в 1898 г.

Вам ясно теперь, что частички бывают весьма различного рода и что они могут иметь различные объемы и вес. Я могу показать вам два-три очень интересных опыта в подтверждение этого. Например, я выдуваю мыльные пузыри посредством выдыхаемого мной воздуха. Эти пузыри, как видите, падают на землю, потому что наполнены обыкновенным воздухом,

а вода, составляющая их стенки, заставляет их падать вниз. Но что будет, если я вдохну в мои легкие водород (этот газ не вредит легким, хотя и не приносит им пользы) и выдуваю мыльный пузырь? Смотрите, как плавно поднимается к потолку этот пузырь. Вот он ударился о потолок и лопнул. Этот

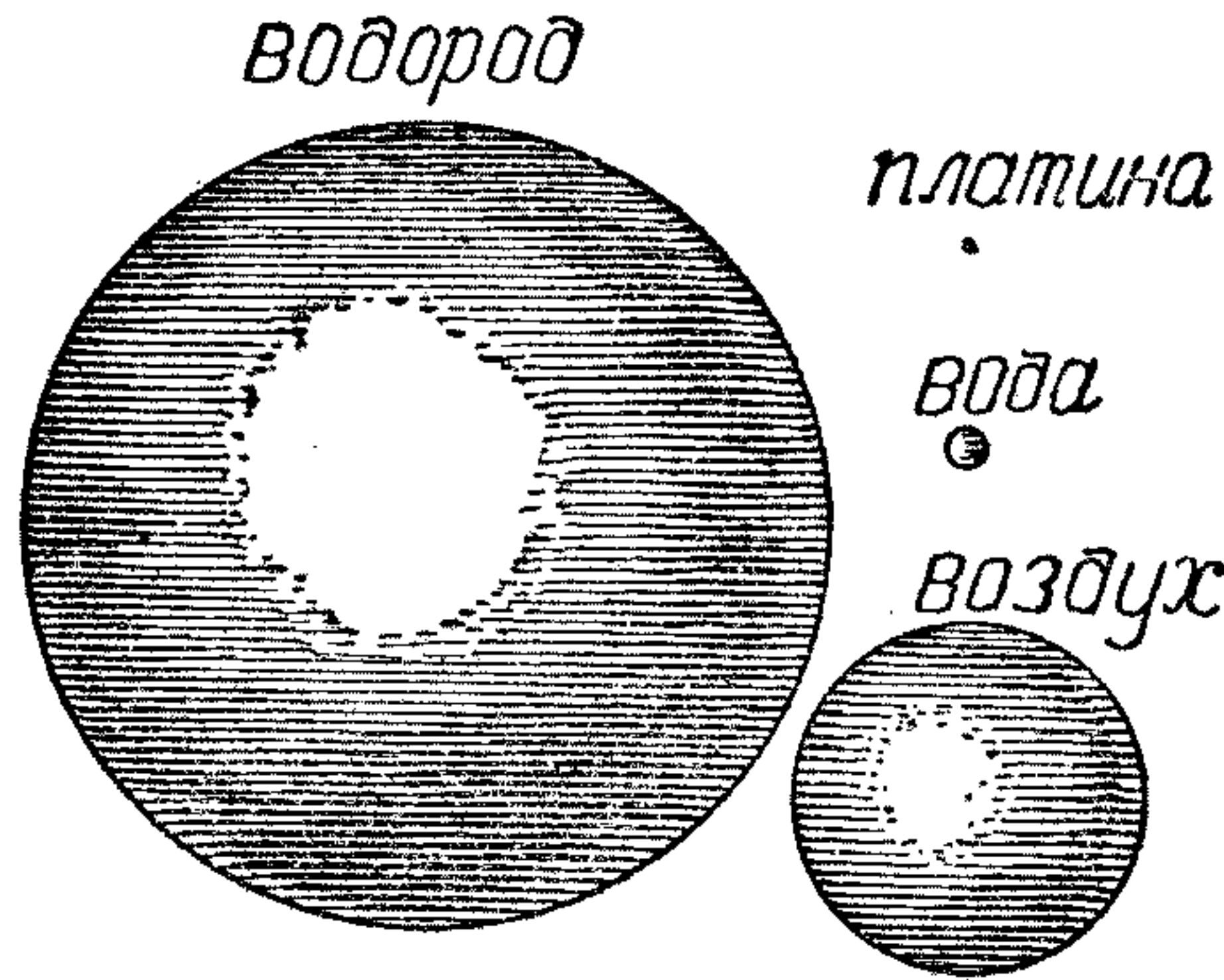


Рис. 29.

опыт очень хорошо показывает, как легок водород, потому что, несмотря на тяжелый испорченный воздух, оставшийся в моих легких и смешавшийся с нашим газом, несмотря на вес самого пузыря, водород поднял пузырь вверх. Я прошу вас обратить внимание на это различие веса как на доказательство различия между частицами разных тел. Для примера возьмем обыкновенные вещества: воздух и воду; затем самое тяжелое вещество — платину¹ и, наконец, газ водород. Посмотрите, как они различаются между собой по своему весу. Такой кусок платины равен по весу количеству воды, воздуха и водорода, объемы которых представлены этими шарами (рис. 29). Этот пример дает понятие об огромном различии веществ в весе веществ, столь различающихся по своим объемам. На доске написана таблица, в которой точно выражено это различие

¹ В настоящее время известен металл осмий (удельный вес — 22,5), тяжелее платины (уд. вес — 21,5).

Принявшись за рассмотрение химического сродства, я должен расширить ваши понятия об этой силе для того, чтобы охватить все вещества, обнаруживающие химическое сродство друг к другу. Ведь это сродство по-разному изменяет характер тел и производит в них весьма замечательные превращения и явления. У меня здесь немного хлорноватокислого калия и сернистой сурьмы¹. Смешав частицы двух различных тел, я хочу показать в общем виде некоторые явления, происходящие при действии друг на друга различных частиц. Я могу заставить эти тела действовать друг на друга различными способами. Для нашего опыта я нагрею их смесь, — то же самое произошло бы, если бы я ударил эту смесь молотом. Я приближаю зажженную спичку к смеси, и в ней немедленно происходит взрыв с мгновенной вспышкой и выделением густого белого дыма. Здесь вы видите действие химического сродства: оно преодолело силу сцепления, существовавшую между частицами этих тел.

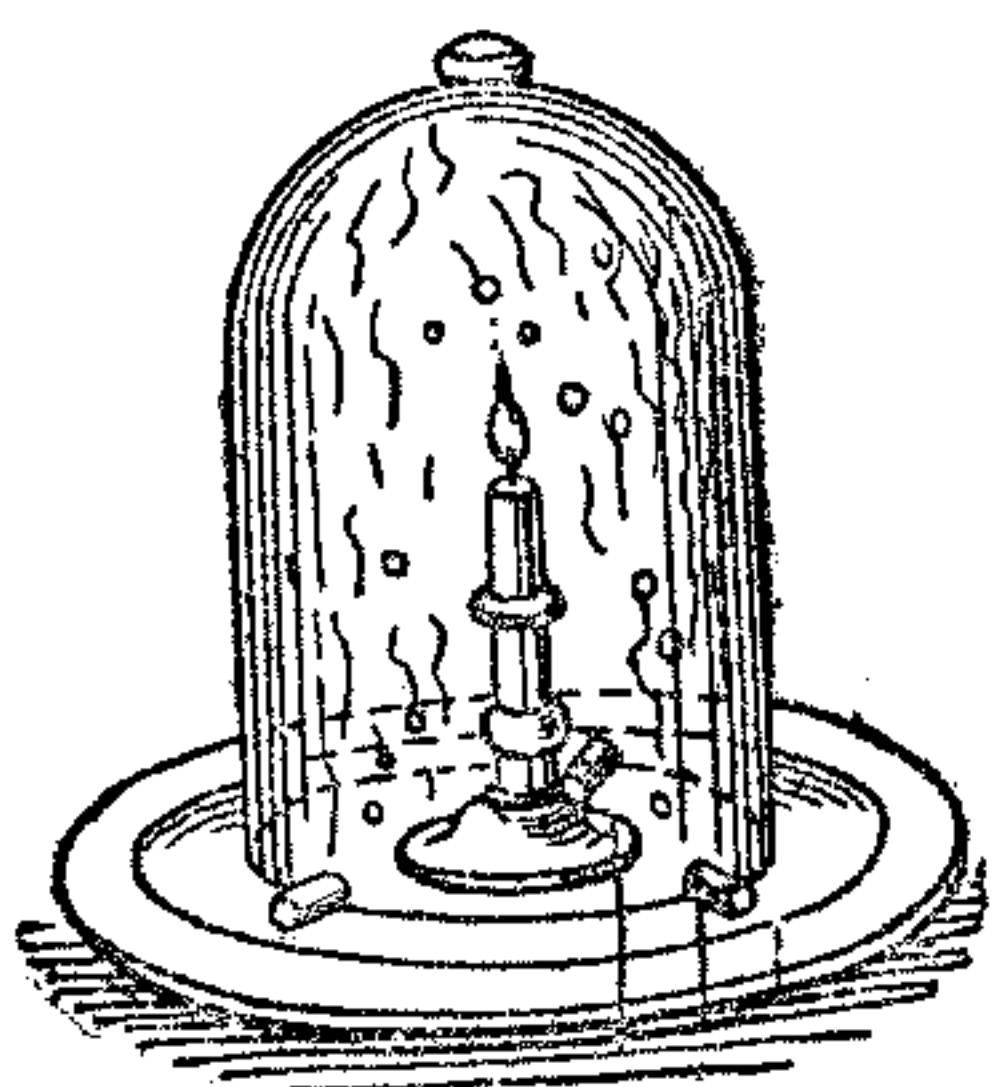


Рис. 30.

Вот немного сахара — вещества, совершенно отличного от черной сернистой сурьмы. Посмотрим, что произойдет, когда мы смешаем вместе сахар с бертолетовой солью². Я прикасаюсь к смеси серной кислотой. Вы видите: смесь загорается и горит постепенно более блестящим пламенем, чем в прежнем случае. Смотрите, как сила химического сродства переходит от одной части смеси к другой, воспламеняя ее и производя в ней заметное движение.

¹ Сернистая сурьма (Sb_2S_3) находится в природе в виде темносеровой массы, называемой сурьмяным блеском. Существует другой вид сернистой сурьмы, так наз. пентисернистая сурьма (Sb_2S_5). Бертолетову соль (хлорнокислый калий) и сернистую сурьму надо смешивать с большой осторожностью, потому что при этом могут произойти взрывы. Они должны быть размельчены отдельно друг от друга и смешаны вместе пером на листе бумаги или пропусканием через толстое сито.

² Смешение бертолетовой соли с сахаром не требует тех же предосторожностей. Они могут быть размельчены вместе в ступке без опасности. Одна часть хлористого калия и три части сахара соответствуют цели. Достаточно прикоснуться к смеси стеклянной палочкой, обмокнутой в серную кислоту (K).

Я должен коснуться теперь некоторых обстоятельств, которые потребуют внимательного рассмотрения. Мы уже знаем некоторые из действий химического сродства, но для того, чтобы более подробно ознакомиться с этой силой, мы должны указать и на некоторые другие ее действия. Перед нами две соли, растворенные в воде¹. Оба раствора бесцветны, и в стаканах, в которые они налиты, вы не можете отличить один от другого. Но если я смешаю их, то между ними начнет проявляться химическое притяжение.

Я сливаю оба раствора в стакан и не сомневаюсь, что вы сразу увидите в них некоторую перемену: они начинают принимать молочный вид, но действие происходит медленно, не так как в тех случаях, которые мы видели прежде, потому что скорость действия химического сродства разнообразна до бесконечности. Если же как следует смешать обе жидкости, взболтав их, то мы быстро получим иной результат. По мере того как я мешаю их, они становятся все гуще и гуще, жидкость наконец отвердевает и начинает переходить в состояние теста: скоро она совершенно отвердеет; мы не успеем окончить сегодняшней лекции, как она обратится в твердый камень, конечно, мокрый камень, но все-таки более или менее твердый. Все это происходит вследствие химического сродства. Химическое сродство замечательно еще в том отношении, что оно может либо действовать сразу, либо оставаться на некоторое время не действующим. Это очень интересное явление, потому что мы ничего подобного не знаем ни относительно силы тяготения, ни относительно силы сцепления². Вот, например, кислород, а вот кусок угля. Я положу уголь в кислород: кислород может действовать на частицы угля, но он не действует. Подобный случай представляет незажженная свеча, которая спокойно стоит на столе, пока ее не зажгут. Но дело не всегда обходится таким образом. Возьмем вещество, такое же газообразное, как кислород; если я положу в нее эти части металла, то между металлом и газом

¹ Сернокислый натр (Na_2SO_4) и хлористый кальций ($CaCl_2$). Для того чтобы опыт удался, растворы должны быть насыщенными.

² В настоящее время силу тяготения отличают от сил сцепления и химического сродства. Силы сцепления, обуславливающие жидкое и твердое состояние тел, рассматривают, как те же самые электрические силы, которые обуславливают химические соединения. В случае жидкостей действие этих сил весьма мало сравнительно с интенсивностью теплового движения.

немедленно произойдет соединение. Медь и хлор соединяются благодаря существующему между ними химическому средству и образуют тело, совершенно отличное от обоих веществ, вошедших в соединение. Однако не надо думать, что в первом примере, который я сейчас показал, не существует средства между углем и кислородом: как только я привожу эти тела в такое состояние, в котором это средство обнаружится, явление будет совсем другое. Я зажигаю кусок угля и вношу его в сосуд с кислородом. Как видите, происходит горение с ярким блеском.

В этом случае химическое средство приводится в действие совершенно так же, как при зажигании свечи или углей в камине: вещества эти ожидают, пока мы дадим им возможность начать взаимодействовать с кислородом воздуха. Может ли быть что-либо красивее этого сгорания угля в кислороде? Каждая из малых искр есть частица, осколок угля, накаленного добела, отброшенного в кислород и горящего в нем тем ярким светом, который вы видите. Теперь позвольте мне сообщить вам еще кое-что о химическом средстве. Вы видите, как уголь горит в кислороде: кусок свинца будет гореть в нем так же хорошо, как уголь, и даже лучше его, потому что кусок свинца будет действовать на кислород немедленно после помещения в него, так же как медь действовала на хлор. Теперь возьмем кусок железа. Если его накалить и поместить в кислород, он сгорит точно так же, как сгорел уголь. Я возьму немного свинца и покажу вам, что он сгорит в кислороде атмосферы при обыкновенной температуре. Вот кусок свинца, который я на-днях вам показывал: помните, я соединил два куска этого свинца. Если я теперь сдавлю вместе два куска свинца, то они не пристанут друг к другу, по той причине, что они притянули из атмосферы часть ее кислорода и покрылись слоем окиси свинца, которая образовалась на их поверхности вследствие настоящего сгорания металла, или соединения его с кислородом. Вы видите, что железо хорошо горит в кислороде. Почему же эти ножницы и этот свинец не воспламеняются, когда лежат на столе? Слиток свинца покрыт оболочкой окиси, тогда как при горении железа в кислороде расплавленная окись отделяется от него, освобождая таким образом все новую и новую поверхность металла, которая в свою очередь сгорает в прикосновении с кислородом, т. е. соединяется с ним и образует окись. А вот здесь в этом маленьком стеклянном сосуде находится

пирофорный свинец¹. Сейчас я покажу, что он воспламеняется моментально. Свинец был весьма тщательно приготовлен в виде мелкого порошка, помещен в стеклянную трубку и запаян в ней, чтобы не допускать к нему воздуха. Это было сделано с месяц тому назад, следовательно, порошок имел достаточно времени, чтобы остыть до нормальной температуры. Следовательно, действие, которое вы сейчас увидите, происходит лишь как результат химического средства. Я отломил конец запаянной трубки и высыпал на бумагу свинцовый порошок. Смотрите, свинец моментально загорелся, он даже зажег бумагу. Это горение есть не что иное, как действие обыкновенного химического средства, всегда существующего между частицами очень чистого свинца и кислородом воздуха. Железо не горит, когда оно не накалено предварительно докрасна, потому что оно покрыто слоем окиси, который не допускает до него действия кислорода. Оно покрыто как бы слоем лака, подобно тому, как мы покрываем картину веществом, которое препятствует действию химического средства между телами.

Пойдем теперь несколько далее в деле исследования химического средства. Замечательно, что притяжение между различными частицами продолжает существовать и тогда, когда они уже предварительно соединены с другими веществами. Вот, например, немного хлорнокислого калия, содержащего кислород, который, как мы вчера видели, можно из него добыть.

В этом теле кислород соединен с другими веществами и удерживается в нем химическим средством, существующим между кислородом и прочими веществами; тем не менее этот кислород, как вы видели, может соединяться с сахаром. Это средство, следовательно, может действовать и через вещества, находящиеся в разных соединениях с данным веществом. Я хочу показать вам, как замечательно сила химического средства обнаруживается в процессе, называемом горением. Если я возьму кусок фосфора, зажгу и накрою его колоколом, то вы увидите, что сгорание фосфора все-таки происходит благодаря химическому сред-

¹ В стеклянной трубке нагревают виннокислый свинец до слабого красного каления, пока он выделяет пары. Как только пары перестают выделяться, конец трубки запаивают и дают ей охладиться (К).

ству (ведь горение всегда есть следствие химического сродства): фосфор при этом обращается в пар, который через некоторое время (к концу лекции) сгустится в хлопья, похожие на хлопья снега. Но что случится, если я ограничу количество воздуха, в котором происходит горение? Тогда фосфор погаснет. Вот кусок камфары — вещества, которое очень хорошо горит в воздухе и даже, будучи положено в воду, плавает на ней и горит, ибо воздух имеет доступ к некоторым из его частиц. Но если я ограничу количество воздуха, поставив колокол над куском горящей камфары, как я теперь это делаю, то вы увидите, что она погаснет. Отчего же это происходит? Не от недостатка воздуха, — его еще много осталось под колоколом. Вы, вероятно, догадываетесь, что камфара гаснет от недостатка кислорода.

Это заставляет нас заняться вопросом о том, может ли кислород произвести более известного количества действия или работы. Кислород под этим колоколом (рис. 30) не может поддержать горения неограниченного количества свечи: как видите, она теперь погасла. Количество химического притяжения, или сродства, кислорода так же строго ограничено, как и притяжение тяготения, — оно не может перейти за известные пределы или не достигнуть в конце-концов этих пределов. Уничтожить определенное количество силы, действующее в этом кислороде, так же невозможно, как невозможно уничтожить тяготение, вес или еще какую-нибудь из таких сил. И когда я говорил, что для образования воды 8 весовых частей кислорода соединяются с одной частью водорода, я подразумевал, что ни одно из этих веществ не может соединиться с другим в иной пропорции. Невозможно, например, соединить десять частей кислорода с 6 частями водорода или 10 частей водорода с 6 частями кислорода: соединение кислорода с водородом требует именно 8 частей первого и одну часть последнего. Теперь я именно таким образом ограничу это действие. Хлопок, находящийся в моих руках, очень хорошо горит в воздухе. Я знаю случаи, когда бумагопрядильные фабрики были взорваны как бы порохом вследствие того, что мельчайшие частицы хлопка, распространенные в воздухе, случайно загорались и пламя быстро перекидывалось из одного конца фабрики в другой. Это свидетельствует о сродстве, существующем между хлопком и кислородом. Если я зажгу плотно свернутый ком хлопка, то он скоро погаснет,

потому что я ограничил доступ к нему кислорода и предохранил от его действия внутренность комка, так же как в том случае, когда окись, покрывающая кусок свинца, предохраняет его. Но вот немного хлопка, который особым способом пропитан кислородом. Этот хлопок называется хлопчатобумажным порохом¹. Я зажигаю его, и вы видите горение, совершенно отличное от горения обыкновенного хлопка, потому что в него был заранее введен кислород, определенное количество которого требуется для горения. А вот несколько кусков бумаги, приготовленной подобно хлопчатобумажному пороху² и пропитанной веществами, содержащими кислород. Этот кусок бумаги был пропитан азотнокислым стронцием, — вы видите великолепный красный цвет его пламени³.

Вот лист бумаги, который, если не ошибаюсь, содержит барит⁴, придающий его пламени красивый зеленый цвет. А вот бумага, пропитанная азотнокислой медью. Она не горит так ярко, как остальные, хотя пламя его очень красиво. Во всех этих случаях горение происходит независимо от кислорода воздуха. Здесь в ящике немного пороха. Я хочу показать, что он может гореть и под водой. Вы знаете, что мы насыпаем порох в ружье, отделяем его от воздуха, помещая над ним пулю, тем не менее количество кислорода, содержащегося в самом порохе, достаточно для того, чтобы химическое действие частиц пороха могло проявиться. Прделаем следующий опыт. Здесь имеется сосуд с водой, и в него погружается пороховой запал. Посмотрим, может ли вода потушить его. Сейчас он горит вне воды, а теперь и под ней, и он будет продолжать гореть, пока не выгорит весь. Это происходит только оттого, что в самом порохе

¹ Хлопчатобумажный порох готовят, погружая хлопчатую бумагу в смесь серной и самой крепкой азотной кислоты и азотнокислого калия (K).

² Пропускную бумагу пропитывают в продолжение 10 минут смесью из 10 частей по объему серной кислоты и 5 частей крепкой дымящейся азотной кислоты, затем тщательно промывают ее теплой перегнанной водой и просушивают при слабом нагревании. После этого насыщают бумагу хлорнокислым стронцием, хлорнокислым баритом или азотнокислой окисью меди, погружая ее в теплые растворы этих солей.

³ Азотнокислый стронций $[Sr(NO_3)_2]$ применяется в пиротехнике для получения красных огней.

⁴ Здесь под баритом Фарадей разумеет, повидимому, азотнокислый барит $[Ba(NO_3)_2]$, применяющийся для получения зеленых огней.

содержится количество кислорода, необходимое для горения. Взаимное притяжение между частицами различного рода дает возможность проследить законы химического сродства и дивное разнообразие действия этих законов.

Теперь я хочу обратить ваше внимание на явления теплоты и света, как на одно из главных действий химического сродства.

Вы знаете, что при горении тела дают теплоту, которая не остается, а исчезает, как только действие прекращается. Значит, теплота зависит от данного действия только в течение того времени, пока оно продолжается. Не такова сила тяготения¹, эта сила действует непрерывно. Она заставляет, например, свинец давить на стол точно так же, как в то время, когда он упал на него². Здесь ничто не исчезает, когда падение кончается; давление на стол существует и будет существовать до тех пор, пока свинец не будет с него снят. В противоположность этому образование света и теплоты при действии химического сродства немедленно прекращается с прекращением этого действия. Кажется, будто лампа постоянно производит свет и теплоту, но это происходит благодаря постоянному притоку воздуха со всех сторон. Образование лампы света и теплоты вследствие химического сродства прекратится, как только будет прерван приток в нее воздуха. Что же означает это замечательное условие проявления теплоты? Дело в том, что теплота есть проявление еще одной силы материи, пока для нас совершенно новой. Сейчас рассмотрим теплоту так, как если бы мы впервые встретились с ней. Что такое теплота? Теплоту узнают по ее способностям превращать твердые тела в жидкие и жидкие в газообразные, а также по ее способности приводить в действие и очень часто преодолевать силу химического сродства. Как же получается теплота? Весьма различными способами, из них чаще всего посредством химического сродства, о котором мы сейчас говорили; однако можно получить теплоту и другими способами. Например, ее можно производить посредством трения. Первобытные народы Индии трут друг о друга два куска дерева до тех пор, пока дерево не нагревается до такой степени, что воспламеняется. Известны

¹ См. прим. на стр. 25.

² Здесь Фарадей устанавливает различие между тем, что в современной физике называют силой, и работой этой силы, или энергией.

даже такие случаи, когда ветки дерева так сильно терлись одна о другую, что вследствие этого все дерево воспламенялось.

Я не думаю, что мне удастся трением зажечь эти два куска дерева, но я легко могу произвести таким образом достаточно теплоты, чтобы зажечь немного фосфора. Я сильно тру их друг о друга в течение одной минуты, затем стоит только положить на них кусок фосфора, и он загорается. Если вы возьмете гладкую металлическую пуговицу, укрепив ее в пробке, то трением о доску из мягкого дерева вы можете нагреть ее до такой степени, что будете в состоянии прожигать ею дерево, бумагу и зажигать спички.

Я покажу вам теперь, что кроме действия химического сродства мы можем производить теплоту и давлением воздуха. Для этого я беру маленький шарик из хлопка, смоченный небольшим количеством эфира, и помещаю в стеклянную трубку (рис. 31), в которую вставляю потом поршень и быстро его надавлю вниз. Этим давлением я смогу зажечь небольшое количество эфира, пропитывающего хлопок. Давление на поршень должно быть непременно внезапным, иначе мы не достигнем того, что нам нужно. Я сильно надавил поршень вниз, и вы видите пламя, происходящее от сгорания эфира в нижней части трубки. Нам нужно только иметь немного эфирных паров и всякий раз пускать в трубку свежее количество воздуха. При таких условиях мы можем повторять этот опыт сколько угодно, получая каждый раз при сдавливании воздуха теплоту, достаточную для зажигания паров эфира. Я думаю, что всего того, что вы уже видели и слышали, будет достаточно, чтобы объяснить вам образование теплоты.

Перейдем теперь к действию теплоты, потому что вы уже видели ее способность превращать лед в воду и пар и, следовательно, уже знаете два главнейших результата нагревания тел. Я хочу показать вам теперь, что теплота расширяет все тела за одним исключением и то лишь при некоторых определенных обстоятельствах¹. Г-н Андерсон будет держать лампу под этой ретортой, и вы увидите,



Рис. 31.

¹ См. прим. на стр. 63.

что, как только она начнет нагреваться, воздух будет в избытке выходить из горла реторты, погруженного в воду: теплота, действуя на воздух, наполняющий реторту, заставляет его расширяться. Вот медный прут (рис. 32), который довольно свободно проходит через отверстие и точно входит в эту мерку; если же я нагрею его на спиртовой лампе, то он уже с трудом войдет и в мерку, а если бы я вложил его в кипящую воду, то он и вовсе не вошел бы ни в отверстие, ни в мерку. С другой стороны, как

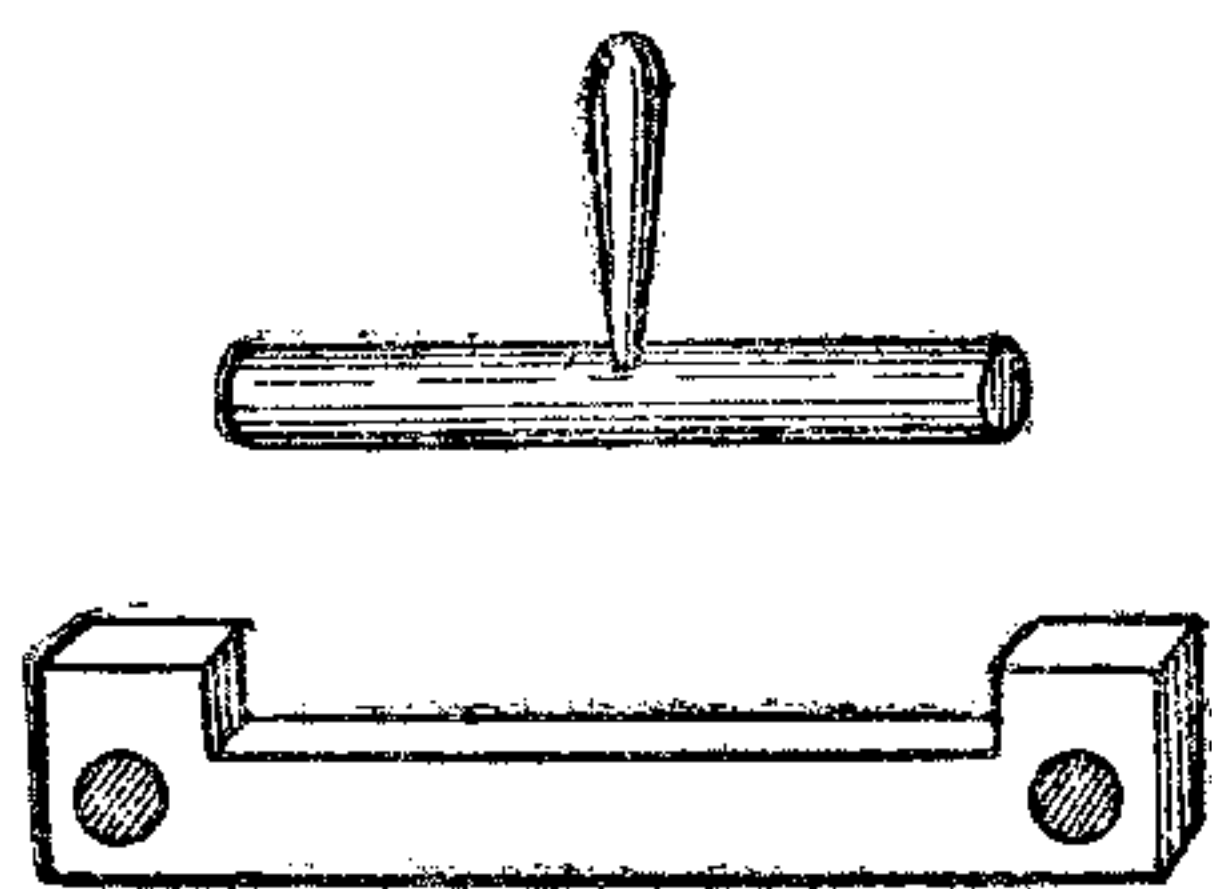


Рис. 32.

только из тел выделяется теплота, они сжимаются. Смотрите, как воздух сжимается в реторте, после того как г. Андерсон удалил лампу: шейка реторты снова наполняется водой. Вспомните, что только-что я не мог пропустить прут через отверстие или вставить его в мерку, но как только я охладил его, опустив в холодную воду, он стал с величайшей легкостью входить в отверстие и в мерку. Это яркое доказательство способности теплоты производить сжатие и расширение тел.

Лекция V

Магнетизм. Электричество

Вспомните, что мы говорили о взаимном притяжении, или тяготении, всех тел при их приближении друг к другу. Вспомните о взаимном притяжении частиц в массах, притягивающих частицы железа к железу, меди к меди, воды к воде и т. д. Вспомните, далее, что в воде мы нашли частицы двух различных родов, притягивающие друг друга: это уже большой шаг вперед в познании притяжения и сцепления, потому что здесь мы имели дело с притяжением между различными частицами материи. Водород может притягивать кислород и, соединяясь с ним, образовывать воду, но он не в состоянии притягивать какую-либо из своих собственных частиц. Таким образом, здесь мы имели первое указание на существование двух родов притяжения¹.

¹ В настоящее время известно, что молекула водорода обычно состоит из двух атомов (H_2) и что именно электромагнитные силы,

Сегодня мы рассмотрим притяжение еще более интересное, а именно притяжение, обладающее двойственной натурой. Прежде всего я постараюсь разъяснить вам сущность этой двойственности. Иногда тела бывают наделены удивительным свойством притяжения, которого они не обнаруживают в обыкновенном состоянии. Вот, например, кусок сургуча, имеющий свойства притяжения, тяготения и сцепления; а когда я зажигаю его, то в нем обнаруживается и притяжение химического сродства к кислороду воздуха. Все эти силы мы находим в сургуче, как будто они составляли часть его вещества. Но есть еще одно свойство сургуча — свойство, которое я постараюсь показать вам при помощи легкого гутаперчевого пузыря, наполненного воздухом и висящего на нити. В настоящее время между шаром и сургучом нет никакого притяжения: может быть, шар колеблется под влиянием легкого ветра в комнате, но он не притягивается сургучом. Если же я потру сургуч куском фланели, поднеся его близко к шару, то вы увидите, что в сургуче только вследствие трения его о фланель возбуждена сила притяжения, прежде не проявлявшаяся в нем. Вы видите, как он притягивает шар. Притяжение это я легко могу уничтожить, как и возбудить. Для этого мне стоит только провести сургучом по моей руке. Я повторяю опыт, возбуждаю притяжение в сургуче посредством трения и вновь уничтожаю его, проведя по моей руке. Вы увидите, что тот же опыт можно повторить и с другими телами. Например, я возьму стеклянную палку и потру ее шелковой тряпкой, покрытой веществом, которое называется амальгамой¹. Оказывается, и в стекле будет возбуждено притяжение. Смотрите, как палка притягивает к себе шар: в стекле, как и в сургуче, я легко могу уничтожить

в которых говорит в дальнейшем Фарадей, являются сущностью так наз. химического сродства, или притяжения. Утверждение Фарадея, что водород не в состоянии притягивать какую-либо из своих собственных частиц, можно с современной точки зрения обосновать указанием на незначительность ускорений и скоростей, обусловленных притяжением между молекулами водорода, сравнительно со скоростями их теплового движения. Фарадей еще считал водород постоянным газом, ныне же мы умеем превращать водород в жидкое и твердое состояние.

¹ Амальгамами называются сплавы металлов с ртутью, в данном случае серебра.

это притяжение, слегка проведя палкой по моей руке, и также снова возбудить его трением о шелк.

Перейдем теперь к другому явлению. Я возьму кусок сургуча и посредством трения возбужу в нем притягательную силу. Вы помните, что всякий раз, когда мы имели дело с притяжением тяготения, химического сродства, сцепления или (как в данном случае) электричества, всегда притягивающее тело само в свою очередь притягивается другим телом: шар притягивается сургучом, но и сургуч в свою очередь притягивается шаром.

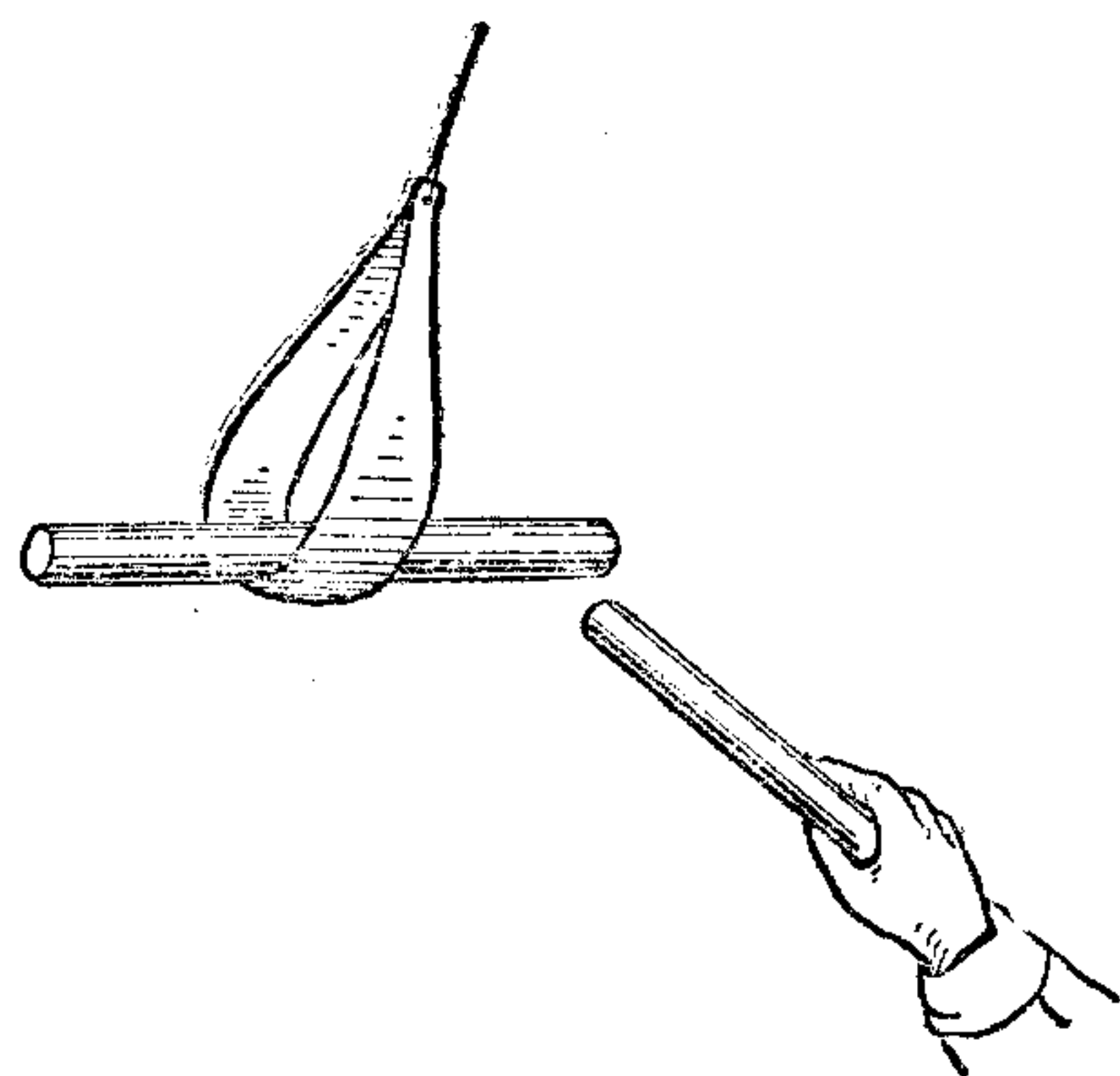


Рис. 33.

Теперь я повешу кусок натертого фланелью сургуча в бумажном стремени (рис. 33) так, чтобы его движение сделать более свободным; затем я возьму другой кусок сургуча, также потру его фланелью и приближу к первому. Казалось бы, что они должны притягивать друг друга, но смотрите, что происходит. Они не только не притягиваются, а, напротив того, очень сильно отталкиваются друг от друга, и я могу таким образом заставить подвижной кусок сургуча вертеться сколько мне угодно. Мы видим, что эти два куса сургуча, каждый из которых одарен в такой значительной степени способностью притяжения, отталкивают друг друга, и притом с такой силой, что заставляют тяжелый кусок сургуча вертеться несколько раз сряду. Но как вы думаете, что произойдет, если в куске сургуча возбудить электричество и приблизить к смоле кусок стекла, потертого шелком? Я приближаю возбужденное стекло к возбужденному сургучу. Вы видите, что они сильно притягивают друг друга. Следовательно, между этими двумя родами притяжения есть некое различие. Здесь имеются два рода притяжения, совершенно отличные от всего того, что мы до сих пор видели; однако сила, действующая в обоих случаях, одна и та же. Таким образом, мы имеем здесь двойственную силу: силу притяжения и отталкивания.

Я покажу вам еще один опыт, который должен помочь вам уяснить себе это. Я устанавливаю грубый указатель, т. е. возбужденный сургуч, висящий опять в стремени: этот указатель груб, но для моей цели он достаточно чувствителен. Беру теперь другой кусок сургуча и уничтожаю в нем эту силу, легонько проводя им по моей руке; затем я беру тщательно высушенный и сшитый в форме шапочки кусок фланели (рис. 34); вставляю сургуч в эту шапочку и буду тереть сургуч и фланель друг о друга, что легко сделать, вертя палку сургуча, вставленную в шапочку.

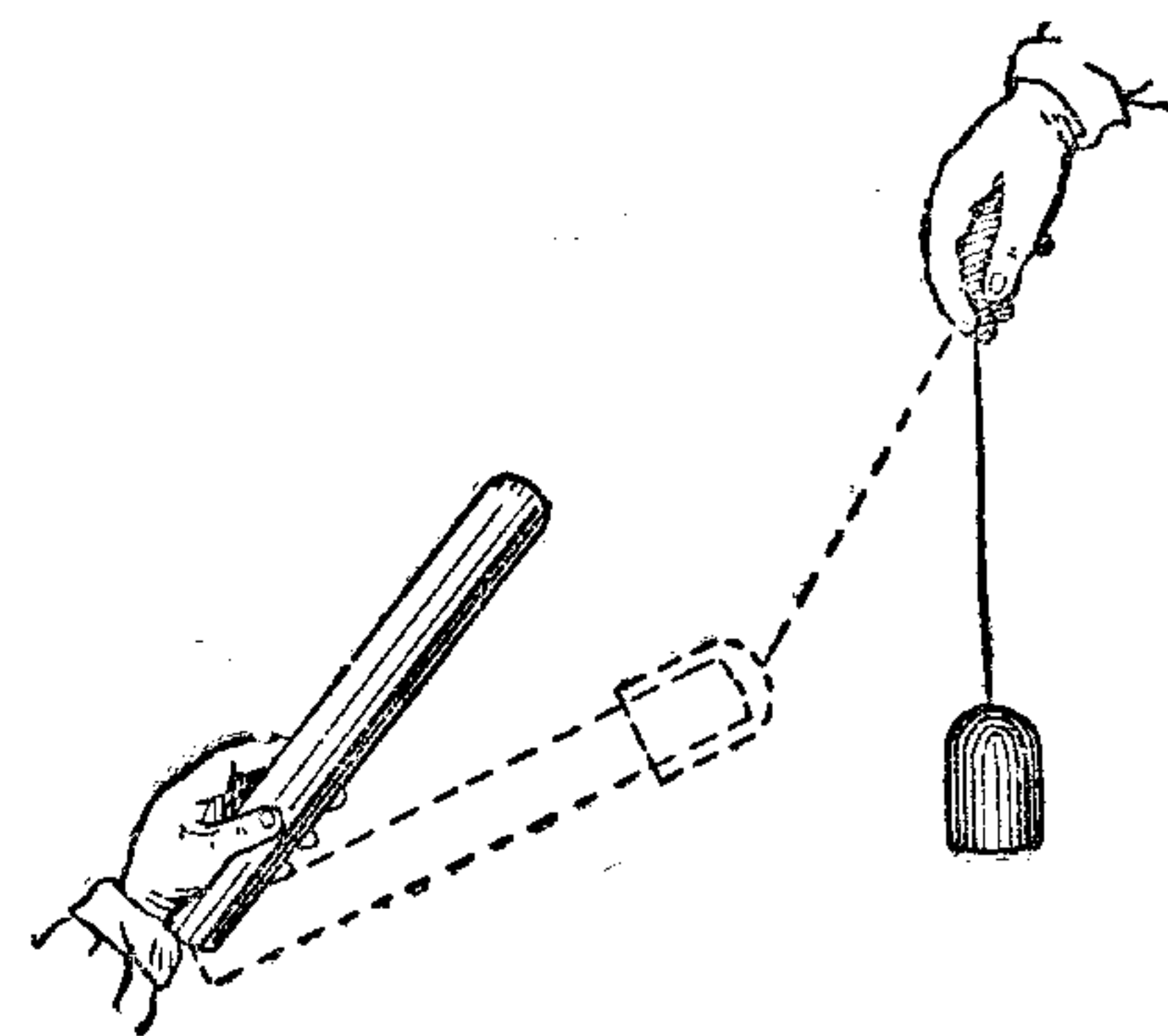


Рис. 34.

Я оставляю шапочку на сургуче и вместе приближаю их к нашему указателю. Посмотрим теперь, какова же будет наша притягательная сила. Никакой силы нет! Но теперь я опять вынимаю сургуч из фланелевой шапочки и посмотрю, как же они будут вести себя порознь. Вы видите, что сургуч так же, как и прежде, отталкивает указатель, а шапочка получила способность притягивать его; однако когда я соединяю их вместе, притяжение перестает действовать. Я повторяю опыт, и вы еще раз видите, что притяжение в последнем случае действительно исчезает. Таким образом, мы ясно видим, что сургуч и фланелевая шапочка отдельно друг от друга действуют на указатель, но, будучи соединены вместе, перестают на него действовать.

Для начала этого будет достаточно, чтобы дать понятие о характере силы, называемой электричеством. Силу эту вы можете возбудить в огромном числе предметов. Для этой цели можно взять хотя бы небольшую палку сургуча и устроить следующего рода указатель (рис. 35).

На часовое стекло или непосредственно на часы (нужно иметь только какое-нибудь тело с выпуклой поверхностью) надо положить кусок плоского стекла; вы получите довольно подвижный центр. Теперь я беру эту плоскую рейку и кладу ее на плоское стекло.

Я ищу центр тяжести рейки, которую мне нужно уравновесить на часовом стекле так, чтобы рейка весьма легко вращалась около центра часового стекла. Теперь я возьму кусок сургуча, потру его о мою одежду и попробую, имеет ли он притягательную способность, для чего держу его близ рейки. Вы видите, как сильно рейка притягивается сургучом: я даже могу вращать рейку около центра благодаря притяжению сургуча.

Таким образом получился прекрасный указатель: ведь небольшим куском сургуча, потертым о полу моего сюртука, я смог повернуть рейку. Для обнаружения электриче-

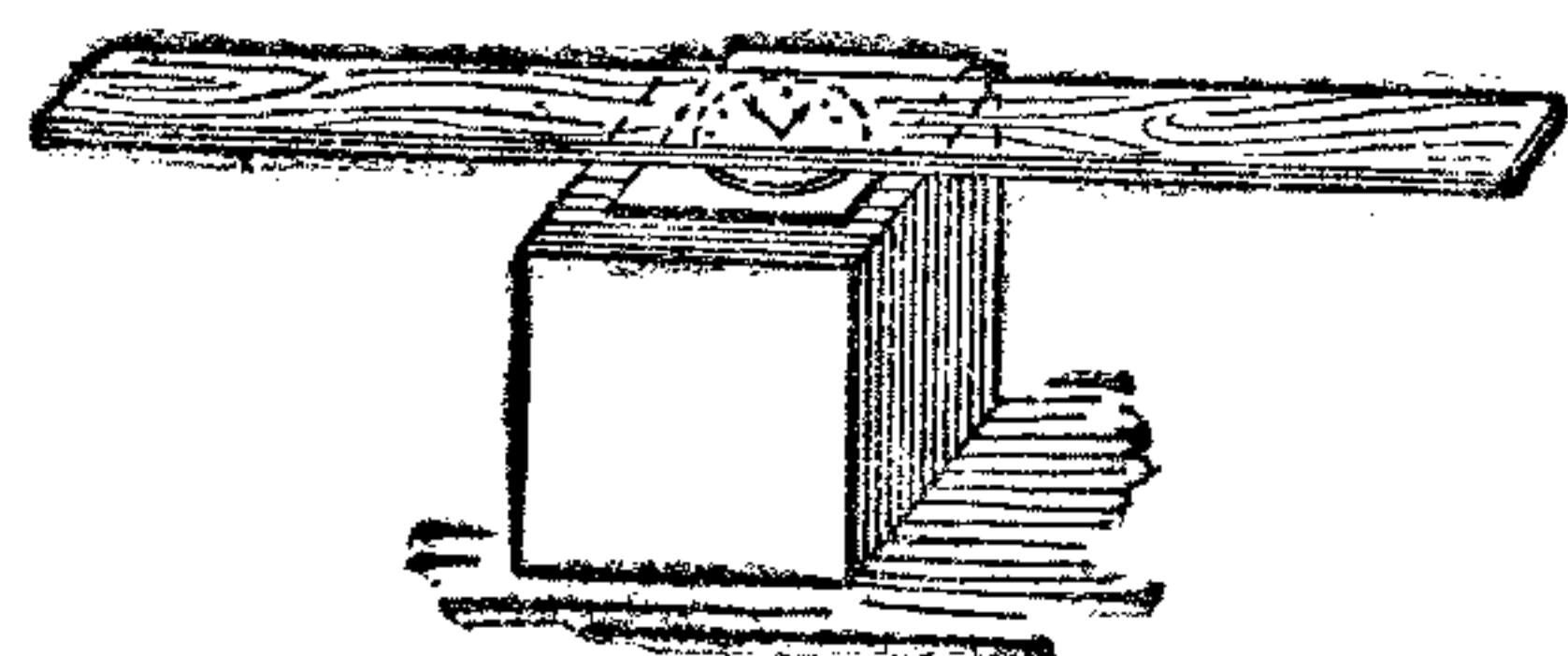


Рис. 35.

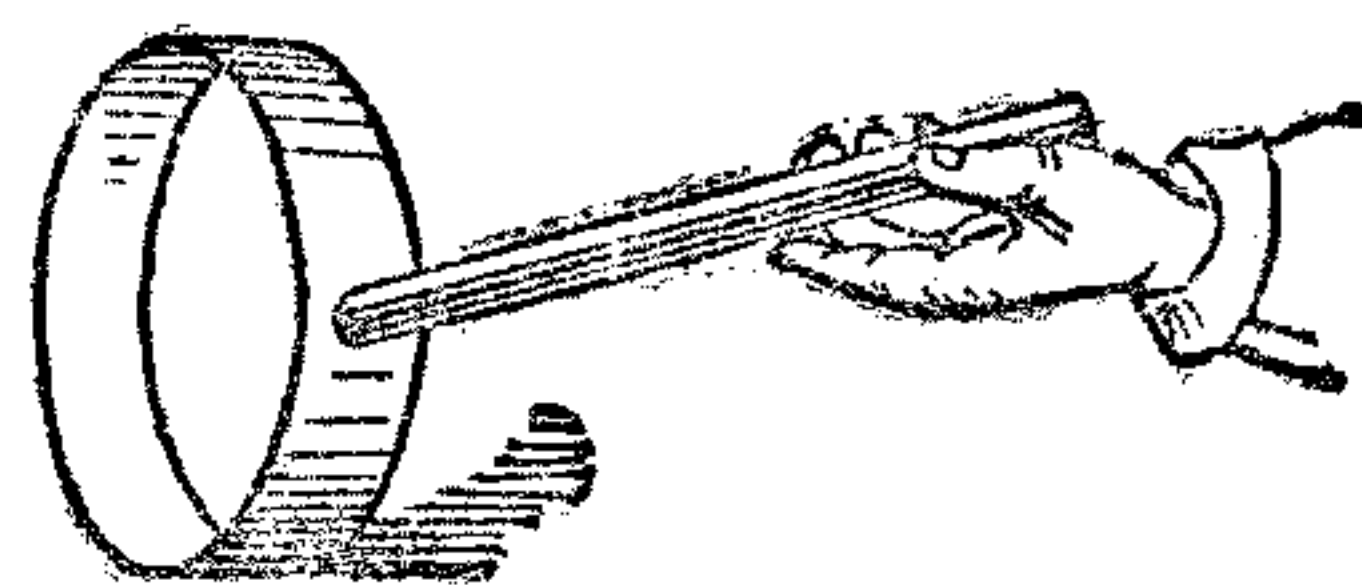


Рис. 36.

ского притяжения можно придумать множество различного рода указателей. Почти нет тела, которого вы не могли бы употребить для этой цели. Вот, например, я сгибаю в обруч полоску бумаги (рис. 36) и получаю указатель, лучше которого нечего и желать; смотрите, как он катится вслед за сургучом. Если сделать его меньше, то он, разумеется, будет катиться скорее; иногда он даже притягивается сургучом вверх на воздух. Возьмем небольшой шарик из колодиума. Он до такой степени наэлектризовывается, что его с трудом можно отделить от моей руки, он отстанет от нее разве для того, чтобы прилипнуть к другой руке. Смотрите, как сильно в нем электричество; почти нет возможности прикоснуться к нему, не возбуждая в нем этой силы. А вот другое тело, резина, нарезанная тонкими полосками. Удивительно, как сильно можете вы ее наэлектризовать путем трения в руках.

Итак, вы ясно видите, что есть два рода электричества, из которых одно получается трением сургуча о фланель, а другое трением стекла о шелк.

В природе существуют замечательные тела, называемые магнитами; два образчика их лежат здесь на столе.

Магнит представляет собой род железной руды, значительное количество которой добывается в Швеции. Магни-

ты одарены притяжением тяготения, сцепления, равно как и известным химическим притяжением; кроме того они обладают еще сильной способностью притягивать некоторые другие тела. Этот ключ, например, поддерживается магнитом. Притяжение, действующее в этом случае, не есть ни притяжение химического сродства, ни притяжение сцепления, ни притяжение электричества (ведь камень не притягивает приближенного к нему резинового шара). Это притяжение совершенно особенного рода: оно двойственно по своим свойствам и, что еще более замечательно, оно не может быть легко уничтожено в одаренном им веществе,— оно существовало в этих камнях в продолжение веков, когда они лежали в недрах земли. Мы можем приготовить и искусственные магниты. Завтра я приготовлю очень сильный искусственный магнит. Пока же возьмем один из готовых искусственных магнитов и постараемся узнать, в какой части его сосредоточена эта сила и двойственна ли она по своему характеру. Вы видите, что магнит притягивает два или три железных ключа один за другим; он притянет и очень большой кусок железа. Как видите, это притяжение совсем иное, нежели то, которое мы возбуждали в сургуче, ибо сургуч притягивал только легкий шарик, а магнит поднимает несколько золотников железа. И если мы рассмотрим повнимательнее это притяжение, то увидим, что оно имеет ряд других замечательных особенностей. Во-первых, мы видим, что концы магнитной полосы притягивают ключ (рис. 37), между тем как середина ее не обладает такой способностью. Повидимому, следовательно, не все вещества магнита одарены притягательной силой. Если я приставлю этот маленький ключ к середине полосы, то он к ней не пристает, однако, если приставить его немного ближе к концу ее, он пристает, хотя и слабо. Не замечательно ли, что в концах полосы есть притягательная сила, а в середине она отсутствует и что в полосе есть два места, в которых как бы сосредоточена вся притягательная сила? Я возьму полосу магнита, тщательно уравновешу ее на одной точке, на которой она могла бы свободно вращаться, и посмотрю, какое действие производит на полосу магнита кусок железа. Вы видите, что железо притягивает как один, так и другой концы ее, так точно, как действовали сургуч и стекло в прежних наших опытах, с той разницей, что железо не притягивает середины полосы. Но если вместо куска железа я возьму другой магнит и испробую таким

же образом действие его на подвижную магнитную полосу, то вы увидите, что один из его концов отталкивает подвижной магнит; здесь, следовательно, действует уже не притяжение, а отталкивание. В то же время, если я возьму другой противоположный конец магнита и придвину его к тому же концу подвижного магнита, то он притянет этот магнит.

На другом опыте можно еще лучше увидеть это. Вот (рис. 38) небольшой магнит в виде иглы, концы которой окрашены различно, так что вы можете отличить их один от другого. Этот конец (S) магнита притягивается неокра-

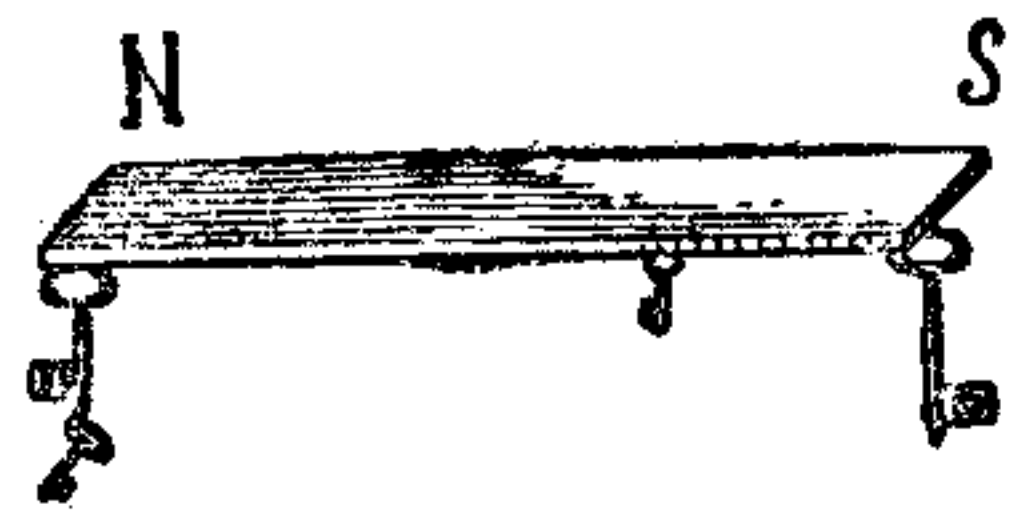


Рис. 37.

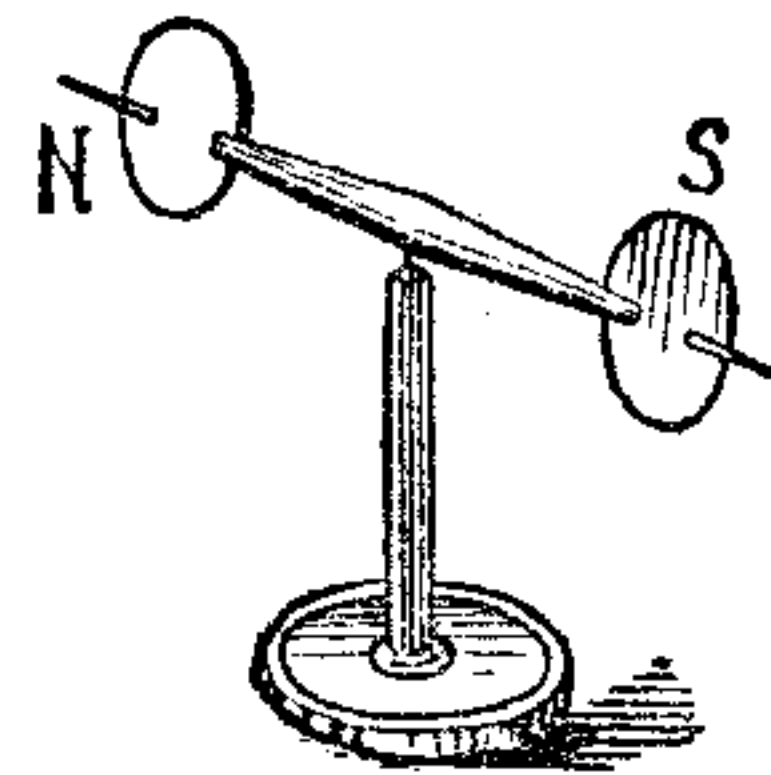


Рис. 38.

шенным концом иглы, неокрашенный конец иглы следует за ним, когда я двигаю этот конец S по окружности круга. Вы видите, они притягиваются с большой силой. Но если я постепенно приближу середину магнитной полосы к неокрашенному концу иглы, то она не произведет на стрелку никакого действия, ни притяжения, ни отталкивания. Между тем, когда я приближаю противоположный конец полосы N к этому же концу стрелки, то окрашенный конец стрелки отталкивается. То же самое мы можем сделать с концами магнитной полосы и относительно другого конца магнитной стрелки. Мы и тут увидим, что один конец магнитной полосы притягивает конец стрелки, между тем как другой конец полосы его отталкивает. Следовательно, мы имеем здесь дело с двумя родами силы, действующими на разных концах магнита, или, вернее, с двойственной силой, уже заложеной в этих телах и проявляющейся в виде притяжения и отталкивания. Теперь, когда я буду употреблять слово магнетизм, вы уже будете знать, что таково название этой двойственной силы.

С помощью этого магнита вы можете изготовлять искусственные магниты. Вот искусственный магнит (рис. 39), оба

конца которого соединены для того, чтобы увеличить производимое им впечатление. Этим магнитом можно приподнять кусок железа; более того, если на верхнюю часть этого магнита положить кусок железа, называемый якорем, то якорь с такой силой притягивается магнитом, что, взявшись за его ручку, можно приподнять весь магнит. Если вы возьмете иглу и проведете одним концом ее по одному из концов магнита, а другим концом по другому, затем осторожно положите ее на воду (благодаря легкому слою жира, которым игла покрылась вследствие прикосновения ваших рук, она может плавать на воде), то, приближая к плавающей игле другую намагниченную иглу, вы сможете наблюдать все явления притяжения и отталкивания.

Заметьте, что хотя на этих магнитах я показал, что двойственная сила преимущественно обнаруживается на их концах, тем не менее в проявлении этой силы участвует весь магнит. Сначала это покажется вам странным, и поэтому мне придется на опыте доказать, что это не случайность и что действительно вся масса магнита участвует в проявлении магнетизма, точно так же, как при падении тел сила тяготения действует во всей их массе.



Рис. 39.

Вот стальная полоса (рис. 40), которую я хочу намагнитить посредством трения о большой магнит (рис. 39).

Теперь оба конца полосы стали магнитными, причем характеры их противоположны. Покуда я не в состоянии отличить один конец полосы от другого, но сделать это легко. Вы видите, что, когда я приближаю полосу к магнитной стрелке (рис. 38), один конец ее притягивает, а другой отталкивает один и тот же конец стрелки; между тем как середина полосы не производит на стрелку никакого действия: она не может действовать потому, что находится на половине расстояния между обоими концами. Но теперь я выломаю из полосы кусок NS. Посмотрите, как сильно один конец этого куска N притягивает конец стрелки (рис. 38) и как другой конец ее S отталкивает тот же конец стрелки. Таким образом можно показать, что притягательная и отталкивающая сила содержится в каждой части магнита, но обнаруживается она только на концах магнита. Вы скоро поймете, как это происходит, но сейчас надо усвоить, что

каждая часть взятой нами стальной полосы сама-по-себе есть магнит. Вот здесь у меня в руках находится очень маленький кусочек, выломанный из самого центра полосы; как он ни мал, вы все же видите, что один конец его обладает притяжением, а другой отталкиванием. Ну, не замечательна ли эта сила? Весьма удивительны средства, позволяющие заимствовать эту силу от одного тела и передавать ее другим. Я не могу сделать кусок железа или другого тела тяжелее или легче, чем он есть, подобно тому, как по природе своей всякое тело должно иметь и действительно имеет известную силу сцепления: силу же магнетизма мы можем придавать или отнимать и располагать ею почти по нашему произволу.



Рис. 40

Теперь опять вернемся на короткое время к предмету, о котором мы говорили в начале этой лекции. Вы видите здесь большую машину (рис. 41), устроенную для того, чтобы тереть стекло о шелк и таким образом получать силу, называемую электричеством. При поворачивании рукоятки немедленно развивается известное количество электричества, что вы видите по движению вверх маленького соломенного указателя А. Отталкивание бузиного шарика на конце соломинки служит признаком того, что в этих медных проводниках В есть электричество. Я хочу показать вам, каким образом это электричество может быть удалено из них. Для этого я прикасаюсь к проводнику и извлекаю из него таким образом искру, вслед за чем соломенный указатель немедленно опускается. Таким образом все электричество, повидимому, исчезло; и в том, что я действительно удалил его, вы убедитесь благодаря следующему опыту. Я беру медный цилиндр за его стеклянную ручку и прикасаюсь им к проводнику, в результате я удалю некоторое количество электричества из проводника в цилиндр, указатель при этом немного опускается, что должно означать потерю некоторого количества электричества. Но электричество не исчезло, оно собрано здесь в медном цилиндре. Я могу уносить и переносить электричество из одного тела в другое не потому, что само-по-себе электричество представляет собой какое-нибудь материальное вещество, а благодаря какому-то особенному свойству его, не встречавшемуся нам еще ни в одной из сил. Посмотрим, есть ли в самом деле электричество в этом цилиндре. Я подношу наци-

линдр к отверстию, из которого вытекает газ. Вы видите искру, перескакивающую от цилиндра к струе газа. Правда, газ от нее все же не воспламеняется, но искру вы во всяком случае видели, а если она не зажгла газа, то это произошло, вероятно, оттого, что легкий ветер в комнате отклонил в сторону струю его, иначе опыт должен был бы удался. Этот опыт мы повторим после. Перескочившая искра показывает вам, что мы можем переносить силу электричества из машины в цилиндр, уносить ее вместе с ним и передавать затем какому-нибудь другому телу. Вы знаете очень хорошо по опыту, что мы можем переносить силу теплоты из одного тела в другое. Например, если я держу мою руку около огня, то она нагревается. Я могу показать вам опыт перенесения теплоты с помощью этого шара, накаленного докрасна.

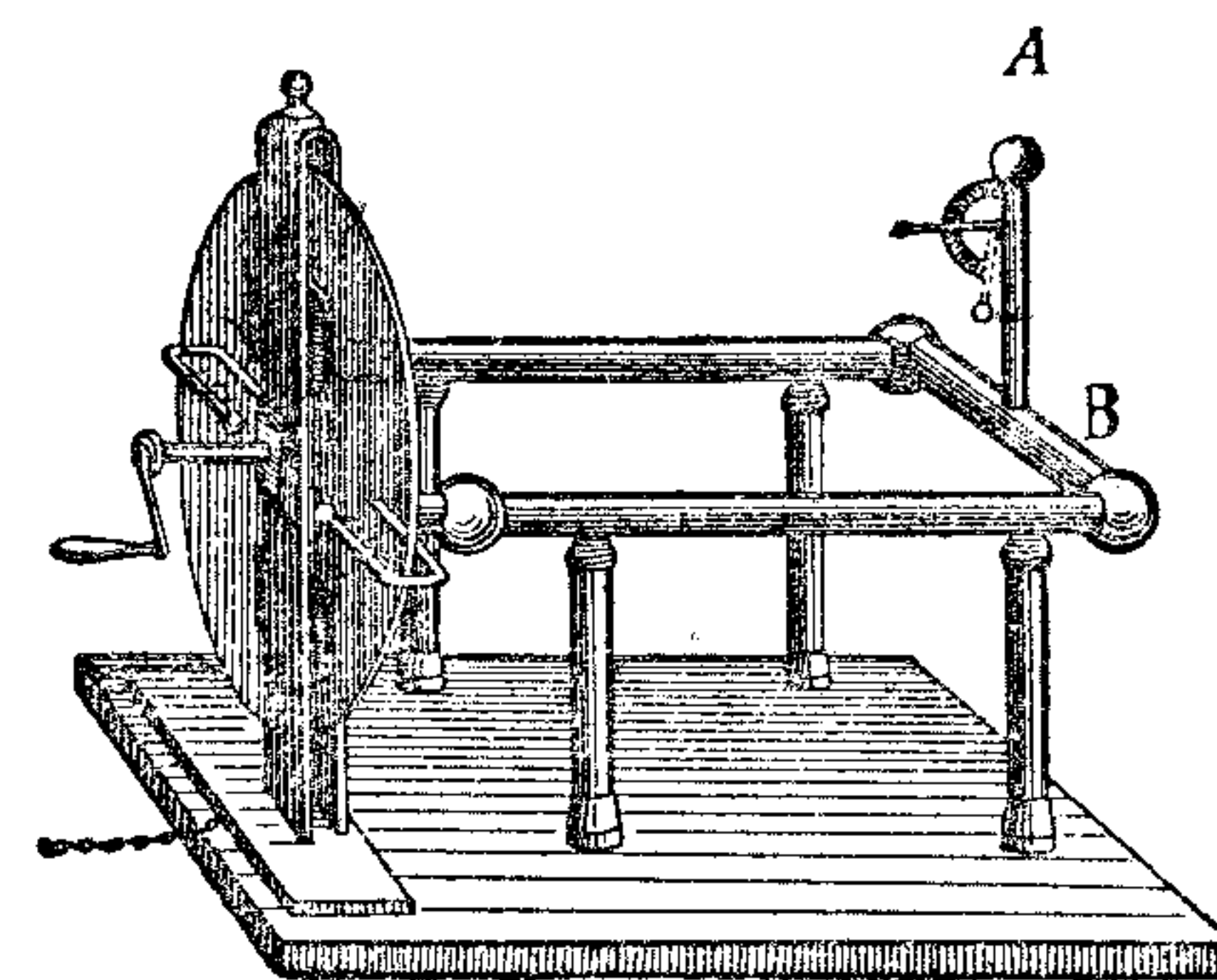


Рис. 41.

Если я прижму к нему проволоку, то часть теплоты шара передается проволоке, и стоит только прикоснуться ею к хлопчатобумажному порошку, чтобы показать вам возможность передачи теплоты шара проволоке и проволоки порошку: порошок немедленно загорается. Вы видите, таким образом, что некоторые силы передаются от одного тела к другому, а другие не передаются. Заметьте, что теплота долго сохраняется в шаре. Я могу прикоснуться к нему проволокой или пальцем, и если сделаю последнее быстро, то обожгу лишь поверхность кожи. В противоположность этому, если я прикоснусь пальцем к нашему цилиндру, то как бы быстро я ни сделал это, электричество немедленно исчезает из него, мгновенно рассеивается.

Теперь я хочу показать вам, каким образом теплота и электричество передаются от одного тела другому. Дело в том, что способы проводимости или передачи силы весьма замечательны, а для нас очень важно понять их. Посмотрим, каким образом эти силы переходят с места на место. Как теплота, так и электричество могут передаваться по проводникам. Вот прибор, который покажет вам, каким

образом распространяется первая из этих сил — теплота. Прибор этот (рис. 42) состоит из медной полосы, проходящей через трубу; если поместить спиртовую лампу (это один из способов получения теплоты) под этой трубой, то пламя будет подниматься к медной полосе и нагреет ее. Теплота передается от пламени лампы к медной полосе, и скоро можно будет видеть, что она проводится по меди от частички к частичке: по мере того как теплота по полосе распространяется, от полосы начинают отпадать деревянные шарики, которые я прилепил к ней воском. Сперва отпадают шарики, ближайšie к нагреваемому месту, а затем постепенно и более удаленные от него. Вы видите, таким образом, что теплота постепенно распространяется по меди. Заметьте, что эта сила распространяется по проводнику весьма медленно сравнительно с распространением электричества¹. Если я оберну бумагой два цилиндра, деревянный и металлический, соприкасающиеся своими концами, и стану нагревать лампой место соприкосновения металла с деревом, то вы увидите, что теплота накопится в дереве и сожжет бумагу, его покрывающую, тогда как по металлу теплота распространится настолько быстро, что не успеет зажечь бумагу. Соединяя кусок дерева и металла и заставляя пламя действовать равномерно на оба тела, мы найдем, что металл нагревается скорее, нежели дерево: если я положу на дерево и на медь по куску фосфора, то вы увидите, что кусок фосфора, положенный на медь, загорится раньше, нежели расплавится кусок фосфора, лежащий на дереве. Это показывает, как плохо дерево проводит тепло. Но

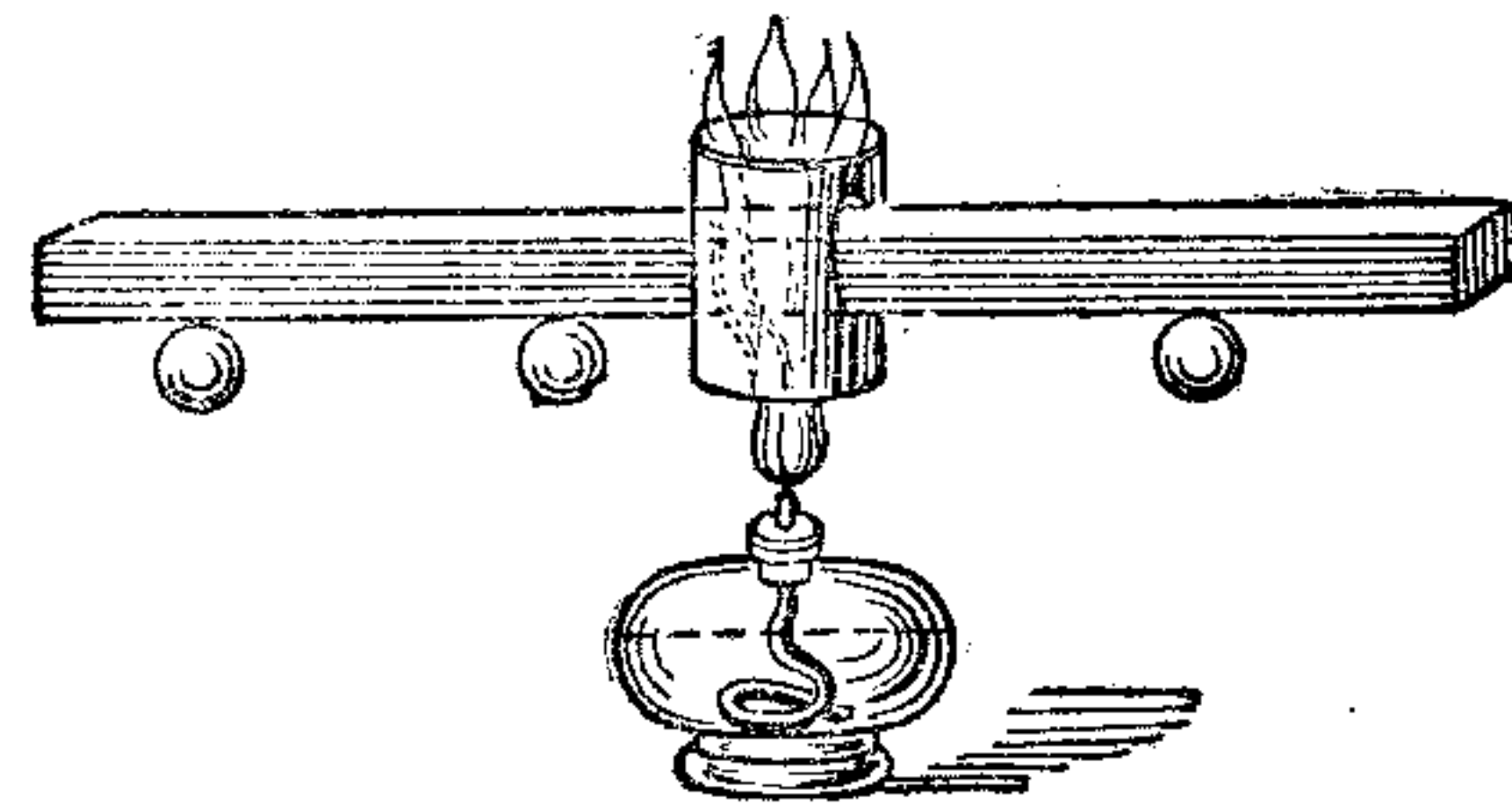


Рис. 42.

Вот еще опыт, который покажет вам, что электричество проходит через некоторые тела и не проходит через другие. Почему эти части электрической машины сделаны из

¹ Между теплопроводностью и электропроводностью металлов существует замечательное соотношение, установленное в 1853 г. физиками Видеманом и Францем: при данной температуре отношение коэффициентов теплопроводности и электропроводности есть величина постоянная. В настоящее время эта связь между теплопроводностью и электропроводностью объясняется на основе электронной теории металлов (Друдэ, 1900 г. и др.). См. сборник «Физика», ч. I, серия «Наука XX века», изд. 1928 г.

что касается электричества, то скорость перехода его от одного тела к другому просто удивительна¹. При помощи кусков стекла и металла я сделаю несколько опытов над проводимостью электричества: между прочим, эти опыты объяснят вам, почему стекло не теряет электричества, которое оно приобретает при трении шелком. Если приблизить к электрической машине кусок меди, то можно видеть, что электричество перейдет из машины в медный цилиндр. Опять-таки, если я возьму металлический прут и прикаснусь им к машине, то указатель машины немедленно понизится; однако, прикасаясь к машине стеклянной палочкой, мы не отнимаем от нее никакой силы, из чего можно заключить, что электричество проводится совершенно различно через стекло и через металл. Чтобы сделать это еще яснее, возьмем одну из лейденских банок. Когда мы прикасаемся куском металла к пуговке наверху банки и к металлической оболочке банки, то вы увидите, что электричество проходит по куску металла в незаметное для нас время. Если я возьму для нашего опыта длинную (любой длины) металлическую проволоку и одним концом ее прикаснусь к внешней оболочке, а другим к пуговке вверху банки, то мы увидим, как в этом случае проходит электричество. Оно проскакивает мгновенно по всей длине проволоки. Электричество передается совершенно иначе, нежели теплота, проходящая через медную полосу (рис. 42): ведь там прошло до 1/4 часа, пока она достигла первого шара².

Вот еще опыт, который покажет вам, что электричество проходит через некоторые тела и не проходит через другие. Почему эти части электрической машины сделаны из

¹ Скорость движения электромагнитных волн равна скорости движения света, т. е. 300 000 км/сек. Что касается скоростей положительно и отрицательно заряженных элементарных частиц (ионов и электронов), движение которых образует явление электрического тока, то эти скорости весьма разнообразны — от долей миллиметра до многих тысяч километров в секунду — и зависят от ряда сложных условий: рода вещества, степени разряженности, температуры, действующего напряжения и пр. Скорости свободных электронов в катодных трубках и в радиовом излучении — порядка скорости света.

² Первые опыты по определению скорости движения электричества по проводам принадлежат Уатстону (1715—1787 гг.) и Лемонье (1717—1799 гг.). Эти опыты оказались неудачными, и лишь Уитстону (1802—1880 гг.) впервые в 1834 г. удалось, пользуясь своим известным зеркальным гальванометром, установить скорость порядка 62 500 англ. миль.

меди? (рис. 41). Потому что медь проводит электричество. А почему для столбиков машины взято стекло? Потому что стекло препятствует прохождению электричества. Почему я устанавливаю эту бумажную кисточку, прикрепленную к деревянному пруту, на стеклянный столбик (рис. 43) и соединяю ее с помощью проволоки с электрической машиной? Вы сразу увидите, что при поворачивании рукоятки машины электричество, развивающееся в ней, немедленно переходит по проволоке и деревянному стержню к кисточке, прикрепленной наверху его. Вы замечаете отталкивающую силу, которую приобрели теперь полоски бумаги, составляющие нашу кисточку: каждая из них выпрямляется по направлению к потолку и стенам комнаты. Снаружи эта проволока покрыта резиной. Если бы я прикоснулся к проволоке рукой, то резина все-таки не помешала бы электрической силе прорваться и уйти; но сейчас для наших целей резина вполне подходит. Итак, вы видите, как легко посылать силу электричества с места на место, выбирая только для этого надлежащий материал, способный проводить эту силу. Положим, мне нужно зажечь порох: это легко сделать посредством передаваемого с места на место электричества.

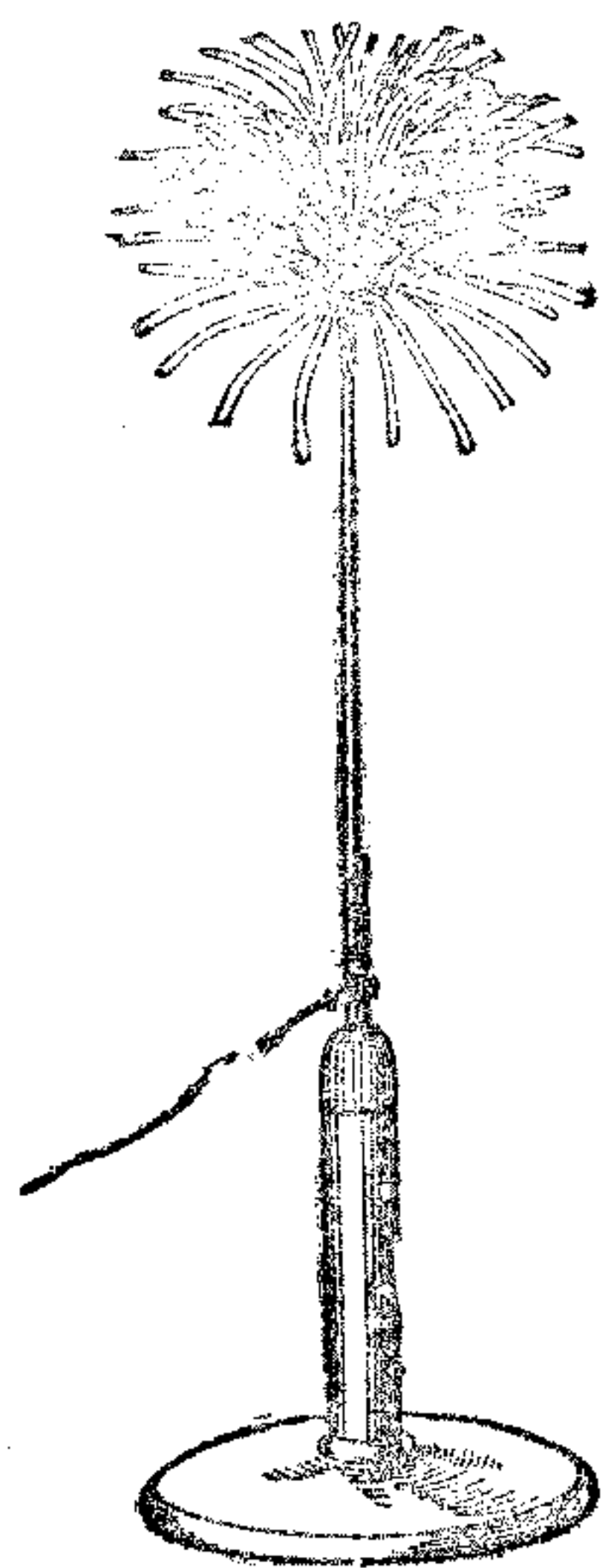


Рис. 43.

Я возьму лейденскую банку или другой прибор, дающий нам эту силу, насыплю немного пороха на концы идущих от него проводов, и в то мгновение, как я соединю их с помощью этого разрядника, вы увидите, что порох воспламеняется. Смотрите: я произвожу это соединение, и порох, в самом деле, вспыхивает. И если я покажу вам этот маленький табурет, вам будет нетрудно понять, почему у него стеклянные ножки: очевидно, потому, что стекло не дает электричеству уйти в землю. Поэтому если я стану на этот табурет и приму в себя электричество через проводник, то я буду в состоянии передать силу тому предмету, к которому прикоснусь.

Я встал на табурет и прикоснулся к проводнику, теперь я наэлектризован и чувствую, что волосы мои приподни-

маются, как приподнимались полоски бумажной кисточки в предыдущем опыте. Попробую, не удастся ли мне зажечь газ, прикасаясь к струе его пальцем. Я приближаю палец к отверстию, из которого выходит газ. Вы видите, мне удалось, хотя и не сразу, зажечь его искрой, вышедшей из моего пальца. Вы теперь видите, каким образом сила электричества может быть передаваема из предмета, в котором она была возбуждена, как она проводится по проводам к другим телам и может служить для достижения целей, совершенно недостижимых посредством тех сил, о которых мы говорили в наших первых беседах. Вам нетрудно будет теперь сравнить силу электричества с другими силами, которые мы уже рассмотрели. В следующий раз мы будем продолжать изучение сил, способных переходить с места на место.

Лекция VI

Соотношение физических сил¹

В течение наших бесед мы не раз видели, что одна из тех сил материи, названия которых я написал на доске, производит результаты, получающиеся и от действия какой-нибудь другой силы. Так, например, мы знаем, что электричество, кроме притяжения, производит еще другие действия: ведь мы видели, что своим влиянием на силу химического сродства оно соединяет и разлагает тела. Следовательно, уже этот случай представляет нам пример связи между двумя силами. Но бывают и другие, более глубокие соотношения. Мы должны рассматривать не только, как одна сила влияет на другую, каким образом, например, сила теплоты

¹ Содержание данной лекции ясно показывает, что хотя Фарадей в некоторых случаях употребляет понятие силы в смысле Ньютона, но в общем и целом это понятие имеет у него смысл понятия энергии. Энергетическое понимание Фарадеем термина сила особенно хорошо видно в работе 1850 г. «О возможной связи электричества и тяготения», где Фарадей даже делает попытку непосредственного использования силовых линий поля тяжести Земли для получения электромагнитной энергии. Хотя опыты Фарадея оказались неудачными, но он выражает твердую уверенность, что такое использование возможно. Косвенным образом, как мы знаем, потенциальная энергия земного поля тяжести в широких масштабах превращается на гидростанциях в электромагнитную

действует на силу химического сродства и т. д., но мы должны постараться понять, в каком отношении эти силы находятся друг к другу и каким образом одна сила может быть превращена в другую. Я должен буду ограничиться одним или двумя примерами, потому что человеческая наука не может пока-что охватить взаимной связи и превращения сил в полном объеме. Для начала я возьму кусок листового цинка, разрежу его на узкие полоски и нагрею их, т. е. приложу к ним силу теплоты, допуская в то же время соприкосновение их с воздухом, и вы увидите, что они при этом будут гореть. Видя горение, вы уже сами скажете, что в этом случае происходит химическое действие. Как вы видите, достаточно держать этот кусок цинка около пламени так, чтобы он нагревался, и кроме того не препятствовать доступу воздуха к нему. Кусок цинка горит так же, как дерево, только с большей яркостью. Часть цинка уходит в воздух в виде белого дыма, а часть его падает на стол. Таким образом, мы имеем дело с действием химического сродства между цинком и кислородом воздуха. Чтобы показать вам, как удивителен этот род сродства, я сделаю опыт, с первого взгляда весьма поразительный. Вот немного железных опилок и пороха: я тщательно перемешаю опилки с порохом, соблюдая при этом возможную осторожность. Теперь мы сравним способность горения обоих веществ. В пламя горящего спирта я буду бросать нашу смесь пороха с опилками, так что частички пороха и опилок будут иметь одинаковую возможность загореться. Теперь скажите мне, которые из них горят? Вы видите яркое горение железных опилок; но обратите внимание на то, что большая часть пороха остается нетронутой, хотя он имеет такую же возможность загореться. Мне нужно только слить спирт из чашки, дать просохнуть пороху, прошедшему через пламя, для чего достаточно нескольких минут, и затем испытать его зажженной спичкой. Теперь порох просох, я прикасаюсь к нему зажженной спичкой, и вы видите по сильной вспышке, как много пороха не сгорело во время падения через спирто-

энергию. С теоретической точки зрения вопрос о том, возможно ли, как и в случае магнитной энергии, непосредственное превращение энергии тяготения в электромагнитную энергию, остается пока открытым. Современная физика еще не в состоянии дать на него определенный и ясный ответ, так как физическая природа поля тяготения еще не выяснена, несмотря на наличие весьма многочисленных теорий этого поля.

вое пламя. Значит, расположение железа к горению так велико, что при некоторых обстоятельствах оно требует для своего воспламенения меньше времени, нежели порох.

Во всех этих случаях мы имеем дело с химическим сродством. Остановимся на них и рассмотрим этот на первый взгляд род химического сродства, а также посмотрим, есть ли возможность обратить эту силу в электричество, магнетизм или в какую-нибудь другую из сил, с которыми мы познакомились. Вот немного цинка (я продолжаю употреблять цинк, потому что он очень удобен для нашей цели). Поместив его в реторту с серной кислотой, я могу получить водород. Цинк разлагает воду на ее составные части и освобождает из нее водородный газ. Но из опыта в то же время известно, что если поверхность этого цинка покрыта незначительным слоем ртути, то способность его разлагать воду от этого не теряется, но изменяется весьма значительным образом. Смотрите, как кипит смесь цинка с серной кислотой, но если прибавить к ней немного ртути, то газ перестанет выделяться. Теперь из смеси не выходит почти ни одного пузырька водорода, так что действие цинка на серную кислоту на время прекращено. Мы не уничтожили при этом химического сродства, а только видоизменили его. Вот несколько пластинок цинка, покрытых слоем ртути точно так же, как покрыт цинк, находящийся в реторте: если я вставляю такую пластинку цинка в серную кислоту, то газ не будет выделяться. Однако замечательно то, что если вместе с цинком я вставляю в кислоту еще другой металл, не имеющий в такой же степени способности гореть, как цинк, то действие возобновится. В реторту с серной кислотой и цинком, покрытым слоем ртути, я помещаю теперь немного медной проволоки (медь не такой горючий металл, как цинк). Вы видите, что водород начинает выделяться точно так же, как выделялся в начале опыта. Пузыри его проходят через воду и собираются все скорее и скорее в колоколе, — цинк действует теперь вследствие своего соприкосновения с медью.

Всякий шаг, который мы делаем вперед, приводит нас к познанию нового явления. Водород, который, как видите, так обильно освобождается теперь, выделяется не от цинка, как прежде, а от меди. Вот у меня сосуд, содержащий раствор меди. Кусок амальгамированного цинка не производит на него почти никакого действия: если я поме-

Щу в раствор пластинку платины, то я могу оставить ее там на сколько угодно времени, и она тоже не произведет никакого действия. Но если я одновременно вставляю в раствор пластинки цинка и платины и приведу их в соприкосновение между собой (рис. 44), то вы заметите, что платина немедленно покроется слоем меди. Отчего это происходит? Платина сама-по-себе не имеет способности выделять металл из жидкости, но она получает эту способность каким-то таинственным образом вследствие соприкосновения с цинком. Вы видите здесь какую-то странную передачу

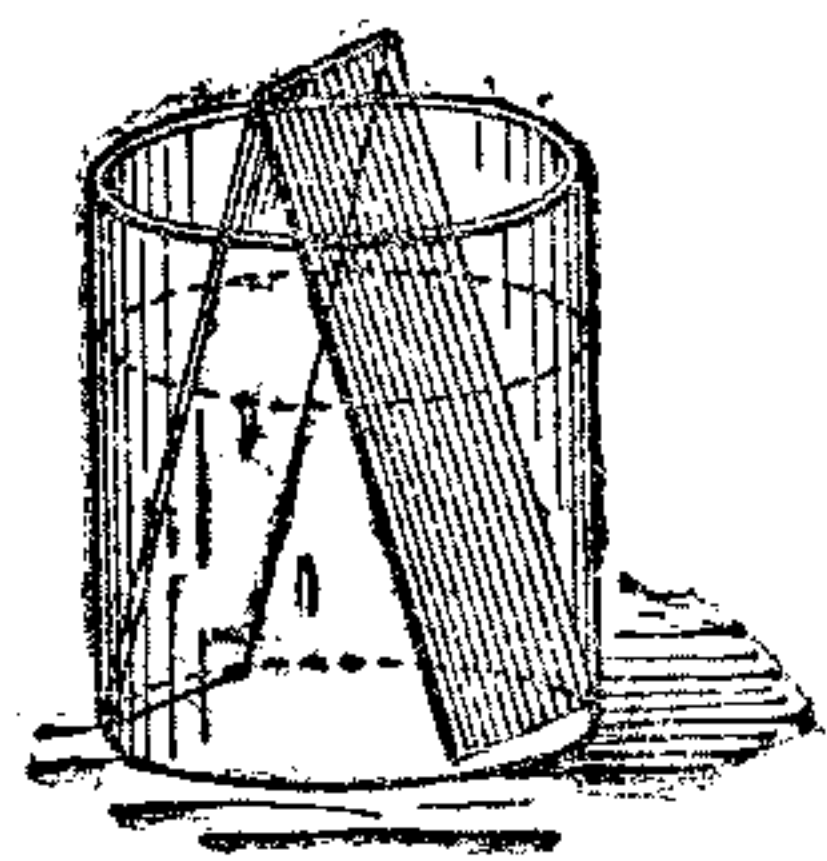


Рис. 44.

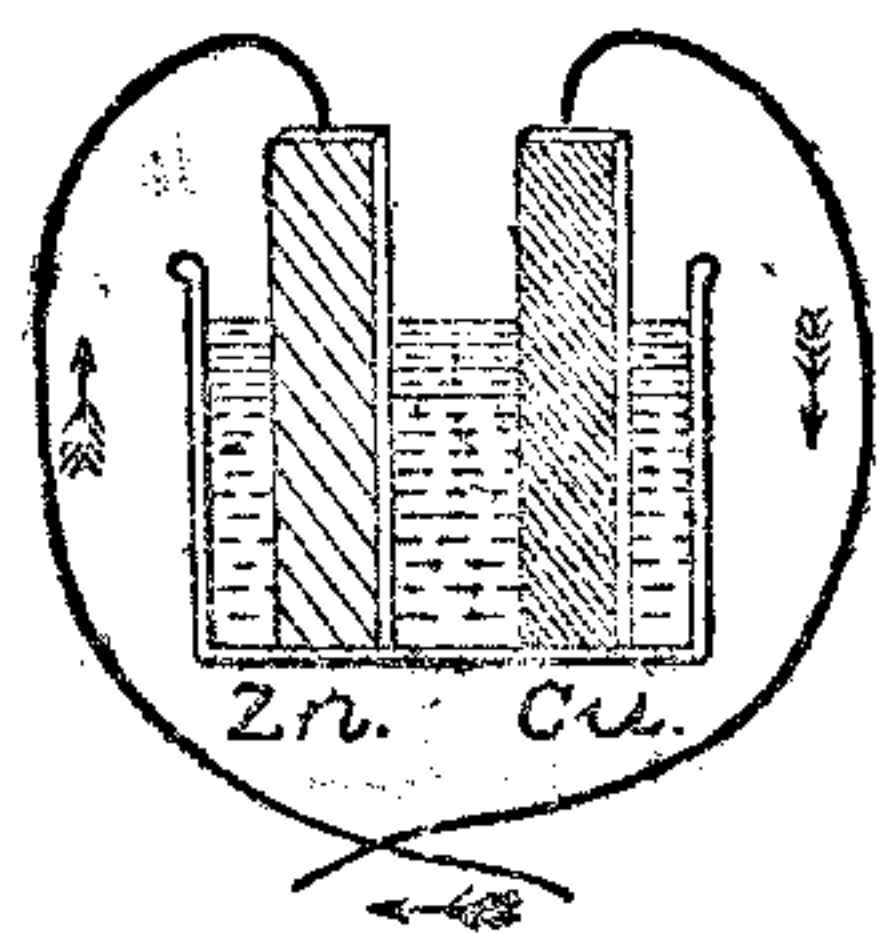


Рис. 45.

химической силы от одного металла к другому, от цинка к платине, вследствие простого соприкосновения этих металлов. Вместо платины я мог бы поместить в раствор медь или серебро, которые сами-по-себе тоже не произведут на него ни-

какого действия, но, как только я вставляю в него еще цинк и приведу его в соприкосновение с этими металлами, действие немедленно начнется, и они покроются медью. Однако и химическую силу частиц цинка или ее действие мы каким-то странным образом можем перемещать с места на место. В замечательном опыте, который я показал вам, мы заставили химическую силу перейти от цинка к платине, помещая оба металла в одну и ту же жидкость и приводя их в соприкосновение между собой.

Рассмотрим теперь немного поближе эти явления. На рис. 45 изображен сосуд с раствором кислоты вместе с пластинками цинка и платины или меди, соединенными между собой вне сосуда проводами, отходящими от каждой из этих пластинок. Все равно, происходит ли соприкосновение между металлами в самой жидкости или вне ее, с помощью прикрепленных к ним металлических проводов: и в последнем случае они сохраняют силу, способную передаваться от одного из них к другому. Если же вместо одного сосуда я возьму несколько сосудов, вставлю в каждый из них цинк и платину и соединю платину одного сосуда с цинком другого, то целый ряд сосудов будет дей-

ствовать вместе. Позади меня вы видите такой прибор. Я употребляю так называемую гальваническую батарею Грове¹, в которой действуют цинк и платина: сила от всех 40 пар металлических пластинок действует в этом приборе одновременно, и все количество возбужденной таким образом химической силы передается по этим проводам, которые проходят под полом и могут быть соединены там с этими двумя прутами, проходящими через стол. Стоит только привести в соприкосновение концы этих проводов, как искра покажет вам присутствие силы в них. Не замечательно ли, что эта сила переносится из батареи, стоящей позади меня, и передается по проводам? Вот прибор (рис. 46), который Гемфри Дэви² устроил много лет тому назад для того, чтобы узнать, производит ли сила гальванической батареи взаимное притяжение тел, так же как обыкновенное электричество. Он устроил его для опытов со своей большой гальванической батареей, самой сильной из существовавших в то время. В этом стеклянном сосуде вы видите два золотых листка, которые я могу приближать и удалять друг от друга с помощью винта наверху его. Каждый из этих листков я соединяю с одним из проводов батареи, и если батарея достаточно сильна, то я смогу показать вам, что при этом листки даже на расстоянии притягивают друг друга. Если близко придвинуть золотые листки друг к другу, то от действия притяжения они соприкоснутся; вы сразу увидите, когда это произойдет, потому что листки тогда загорятся от действия нашей силы, что может случиться,

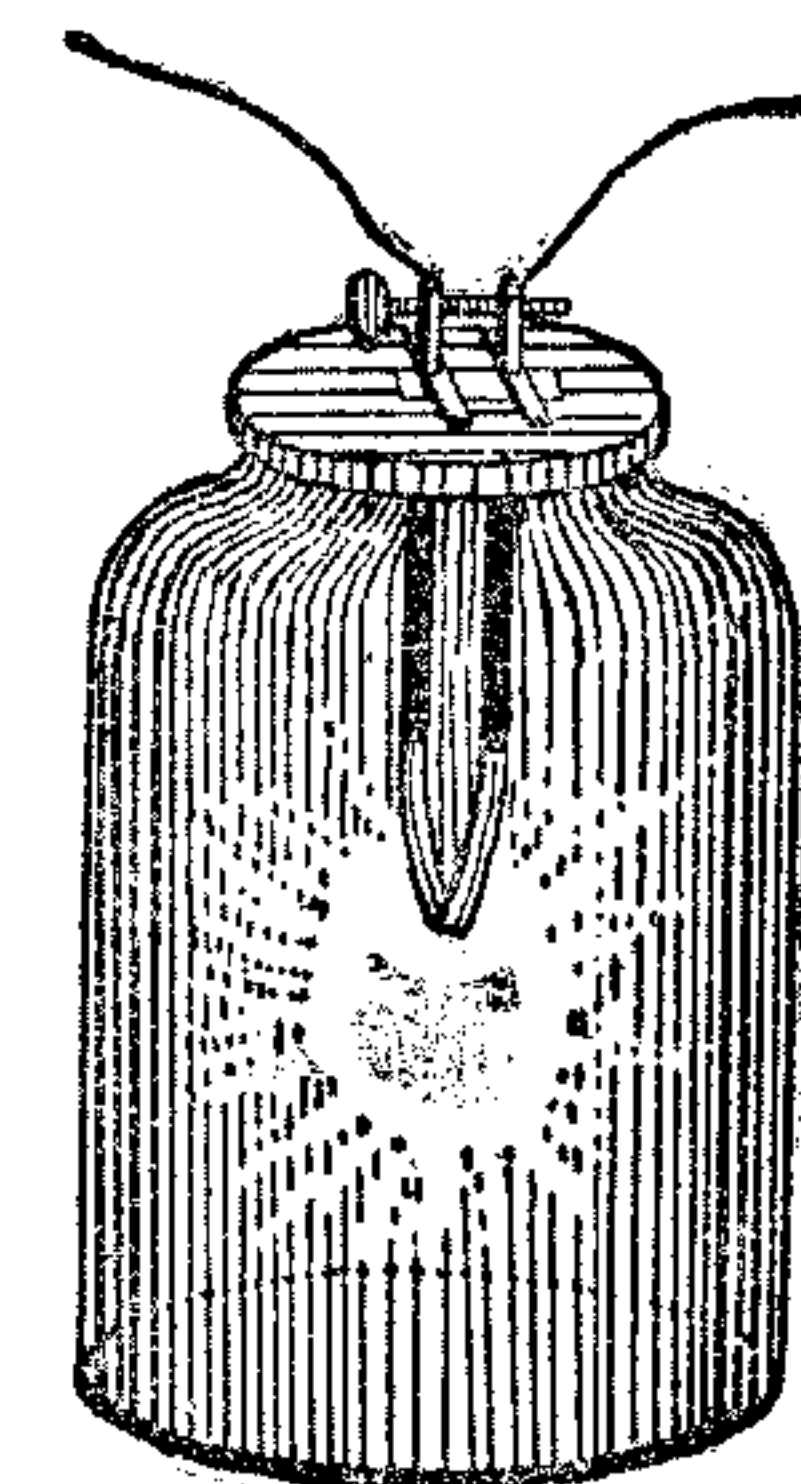


Рис. 46.

¹ Платиновый элемент Грове был изобретен в 1840 г. В элементе Грове цинк находится в растворе серной кислоты, платина же — в растворе азотной кислоты. Последняя служит так наз. депольризатором, т. е. выделяющийся на платиновом электроде водород окисляется азотной кислотой, что способствует поддержанию нормального напряжения элемента около 1,5 вольт.

² Гемфри Дэви — английский химик (1778—1829 гг.), учитель Фарадея. Ему принадлежит открытие металлических натрия и калия, полученных при помощи гальванического тока, доказательство того, что хлор является элементом, и т. д. Кроме того известна так называемая лампа Дэви, применяемая в каменноугольных копях.

лишь если они действительно прикасаются друг к другу. Итак, я начинаю медленно сближать их и не сомневаюсь, что некоторые из вас увидят приближение листков прежде, нежели они загорятся, а те, которые находятся слишком далеко от стола и не могут заметить это приближение, увидят по горению листков, что они пришли в соприкосновение. Вот теперь листки коснулись друг друга задолго до того, как я их полностью сблизил, и они загорелись: вы видите блестящую вспышку. Притягательная сила в обоих концах батареи показывает, что мы действительно имеем теперь дело с явлениями электрическими.

Посмотрим, однако, что это за искра? Я беру оба конца проводов, соединяю их и получаю прекрасную искру, с сильным блеском, подобным блеску солнца в небе над нами. Что же это за явление? Это то же самое, что происходит при разряде большой электрической машины, где вы также наблюдали блестящую искру. Явление в обоих случаях действительно одинаково, только искра от проводов батареи продолжительнее, потому что прибор этот действует сильнее¹.

Вместо машины, которую нужно долго вертеть, мы имеем здесь химическую силу, которая особым образом передается по этим проводам и образует искру. Я хочу показать вам, по возможности, что эта искра и производимая ею теплота (ибо тут есть и теплота) не более и не менее, как химическая сила цинка, которая переносится по проводам и доходит до их концов. Я возьму кусок цинка и сожгу его в кислороде, чтобы показать, какой именно свет производится настоящим сгоранием в кислороде одного из употребляемых нами металлов. Смотрите, я зажигаю на спиртовой лампе кисточку из листового цинка и вставляю ее в сосуд с кислородом. Она горит с ярким блеском. Это показывает вам энергию и силу² химического средства. В батарее, находящейся позади меня, цинк сгорает гораздо

быстрее, нежели в этом сосуде, ибо цинк растворяется, горит и производит сильный электрический свет. Та же сила, которая развивается в сосуде с кислородом при горении в нем цинка, передается по проводам батареи и обнаруживается у их концов в виде электрического света. Вы можете поэтому, если хотите, рассматривать дело так, что цинк сгорает в сосудах батареи и что свет от этого горения обнаруживается при сближении концов проводов. Я мог бы устроить наш прибор таким образом, чтобы показать, что в обоих случаях развивается одно и то же количество силы. Таким образом мы по произволу можем располагать силой химического средства и проводить ее с места на место.

Когда мы хотим произвести взрыв пороха, то можем в мину направить силу химического средства, превращенную в электричество: не запасаясь заранее ог-

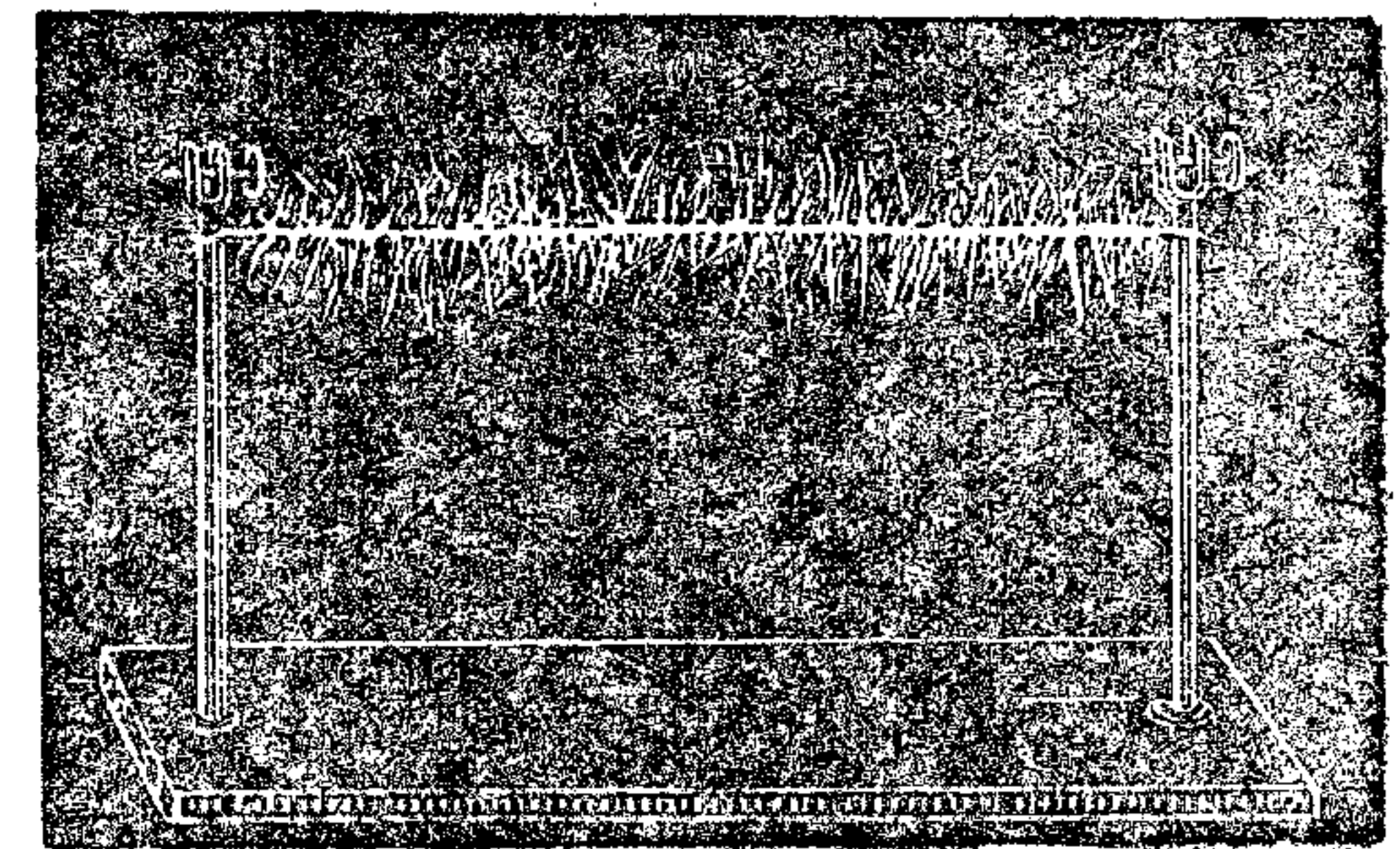


Рис. 47.

нем, мы можем получить его когда угодно. Вот сосуд (рис. 47), в котором помещены две заостренные палочки из древесного угля: этот прибор может также служить примером удивительной способности силы электричества передаваться с места на место. Стоит только соединить посредством проводов палочки из угля с батареей и привести угли в соприкосновение между собой, сила химического средства сейчас же обнаружится. Мы ее обнаруживаем здесь в виде электрического света. Чтобы доказать это, мы выкачали воздух из сосуда, так что уголь не может гореть, и поэтому свет, который вы видите, происходит именно от сгорания цинка в батарее, находящейся позади меня: уголь не исчезает, хотя и дает нам великолепный электрический свет. Как только я прерываю соединение углей с батареей, свет прекращается. Вот другой пример, который еще лучше покажет вам, с какой уверенностью мы можем проводить силу химического средства в такие места, в которых при обыкновенных обстоятельствах она не могла бы действо-

¹ В современных электростатических машинах напряжение достигает до 300 000 вольт (новейшая машина Жоли — 5 млн. вольт), однако вследствие громадного внутреннего сопротивления (диски из изоляторов — стекла или эбонита, воздушные промежутки) сила тока весьма мала (около 0,00001 амп.). Внутренние же сопротивления гальванических элементов и динамомашин (электролиты, металлы) весьма малы, так что при несравнимо меньших напряжениях имеется возможность получать большие силы тока.

² Energy and power — это место ясно показывает, что термины «энергия» и «сила» являются у Фарадея синонимами.

вать. Мы можем поместить угольные полюсы даже под воду и получить там электрический свет. Смотрите, теперь они под водой. Соединяя их батареей, мы получаем тот же свет, который имели в стеклянном сосуде.

Кроме такого образования света горящий цинк производит еще и другие действия. Вот несколько тугоплавких проволок: одну из них, тонкую платиновую проволоку, я укреплю двумя столбиками, которые могут быть соединены с батареей (рис. 48). Производя это соединение, мы получаем огромное количество теплоты. Не удивительно ли это явление? Провода, идущие от батареи, представляют собой настоящий мост для прохождения силы. В нашем приборе сила всюду проводится по металлу, но вы видите, что большое количество теплоты выделяется в платиновой проволоке, которая до некоторой степени сопротивляется прохождению силы¹. Это та теплота, которую цинк дал бы при горении в кислороде, но он горит в гальванической батарее, и теплота выделяется в другом месте. Я буду теперь укорачивать проволоку, чтобы показать вам, что чем короче проволока, затрудняющая прохождение силы, тем сильнее выделяющаяся в

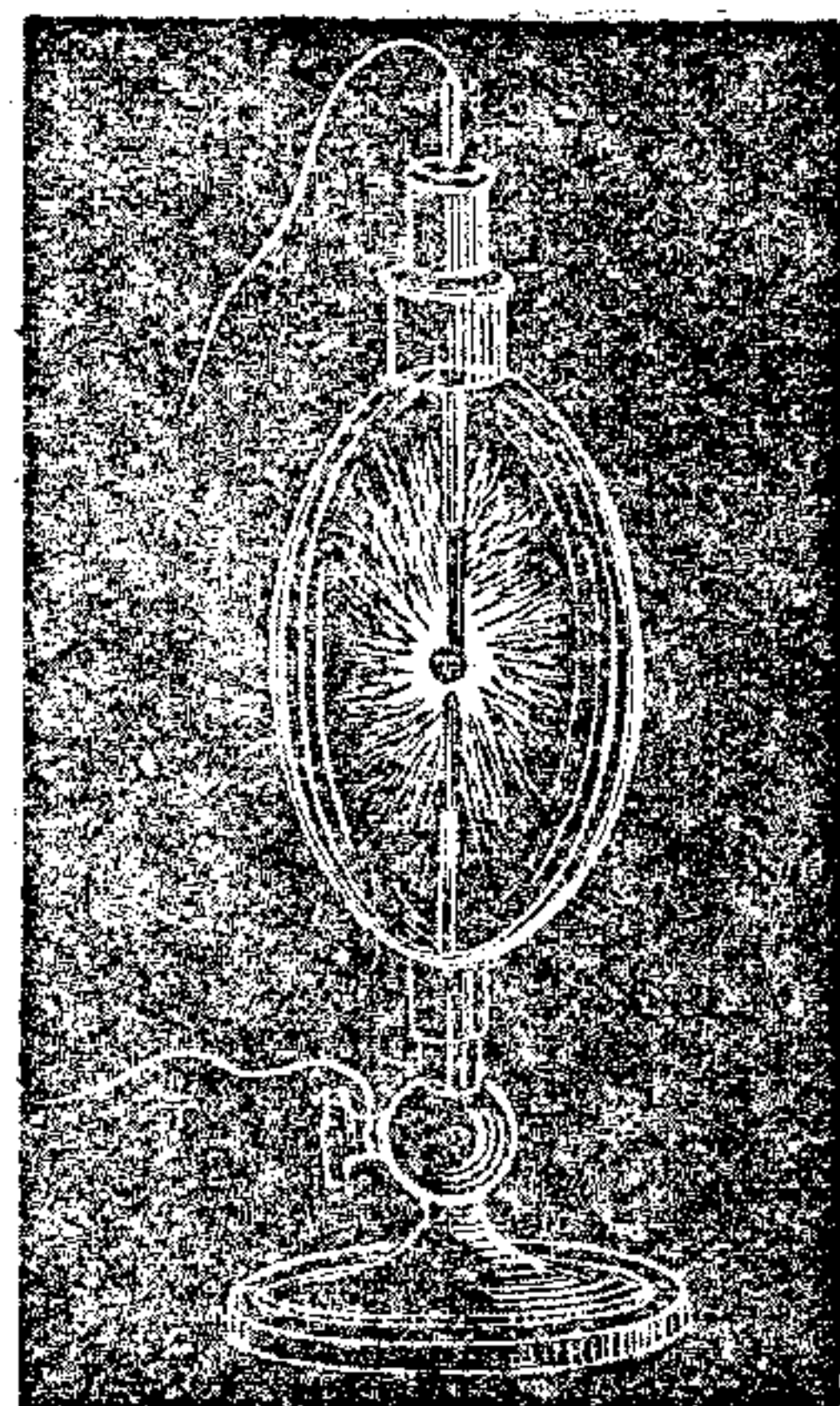


Рис. 48.

ней теплота², пока, наконец, платина не будет расплавлена ею и упадет, вследствие чего сообщение прервется.

¹ Сопротивление платины прибл. в 6 раз больше сопротивления меди. Согласно закону Джоуля, при данной силе тока количество выделяющейся тепловой энергии пропорционально сопротивлению, так что в платиновой проволоке при той же силе тока выделяется в 6 раз больше тепловой энергии, чем в медной проволоке того же сопротивления.

² Согласно закону Джоуля, при данном напряжении, приложенном к проводнику, количество тепловой энергии обратно пропорционально сопротивлению проводника. Укорачивая проволоку, мы уменьшаем сопротивление и тем самым увеличиваем количество выделяющейся в ней в единицу времени тепловой энергии. Отсюда не следует делать вывод, что в частях с меньшим сопротивлением единой цепи выделяется больше тепловой энергии, нежели в частях с большим сопротивлением. Как раз наоборот: при установлении в цепи определенной силы тока количество выделяющейся тепловой энергии пропорционально квадрату силы тока и

Вот другой пример. Кладу кусок серебра на древесный уголь, представляющий один полюс батареи; другой полюс ее я также приведу в соприкосновение с серебром. Смотрите, как ярко горит серебро! (рис. 49). Я кладу на уголь кусок железа, и вы видите, что он сгорает. Мы можем сжигать таким образом между полюсами батареи почти все вещества. Я хочу показать вам теперь, что эта сила есть не что иное, как химическое средство; хотя мы и называем ее теплотой, электричеством или каким-нибудь другим именем, соображаясь с ее источником или способом передачи, но в сущности она — химическое средство. Вот окрашенная жидкость, в которой влияние химического действия можно обнаружить по перемене цвета. Я налью часть этой жидкости в стакан, и вы увидите, что провода батареи произведут в ней весьма сильную перемену. Это действие не есть ни горение, ни образование

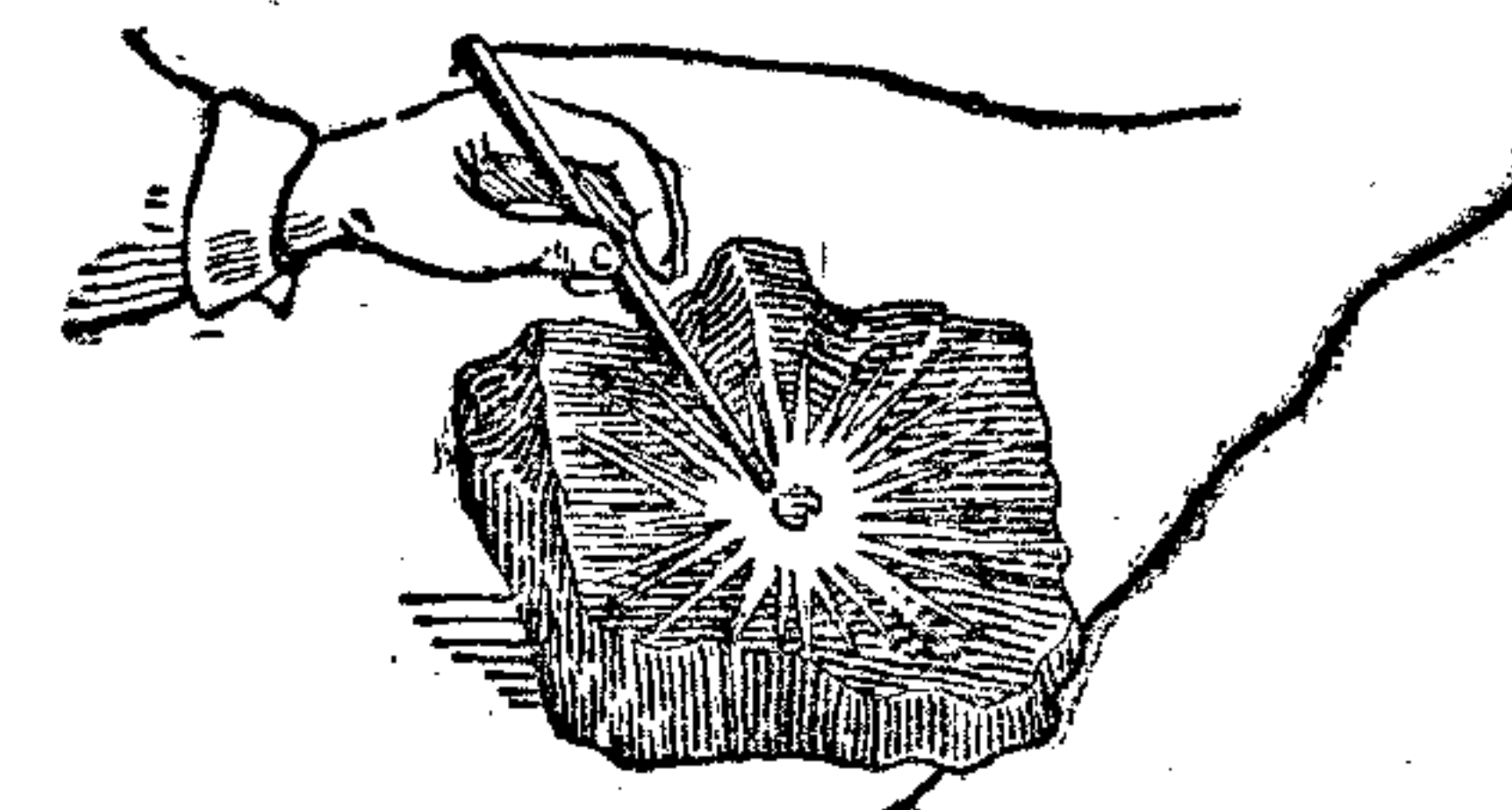


Рис. 49.

теплоты. Я возьму две платиновые пластинки, прикреплю их к проводам батареи, одну к одному полюсу, другую к другому, и затем вставлю в наш раствор: очень скоро вы увидите, что голубой цвет раствора полностью исчезнет. Смотрите, раствор уже обесцвечивается. Мне стоило только опустить концы проводов в раствор индиго, и проходящая через них сила электричества проявилась в этом химическом действии. Говоря о химическом действии электричества, я должен упомянуть еще об одном замечательном явлении, а именно, что цвет раствора разрушается от действия одного только полюса. В плоскую чашку я налью немного больше этой серно-индиговой кислоты¹ и поставлю в ней глиняную

сопротивлению. Следовательно, в частях с большим сопротивлением выделяется, при данной силе тока, больше тепловой энергии, нежели в частях с меньшим сопротивлением.

¹ Серно-индиговая кислота — смесь одной части индиго и пятнадцати частей крепкой серной кислоты. Она белеет на той стороне, где выделяется водород, который отнимает кислород у индиго, вследствие чего образуется бесцветный индиго, лишенный кислорода. При этом опыте необходимо прибавить к воде достаточно серно-индиговой кислоты для того, чтобы она хорошо посинела (К).

скважистую перегородку, которая разделит жидкость на две части (рис. 50). Теперь мы сможем увидеть, есть ли различие в действии обоих полюсов батареи и который из них, собственно говоря, обесцвечивает жидкость. Вы видите, что на правой стороне полюс действительно уничтожает синий цвет раствора, — правая часть раствора совершенно побелела, тогда как на другой стороне в ней не произошло, по видимому, никакого изменения. Я говорю по видимому, потому что мы не должны думать, что на этой стороне не произошло никакого действия, раз мы не замечаем его.

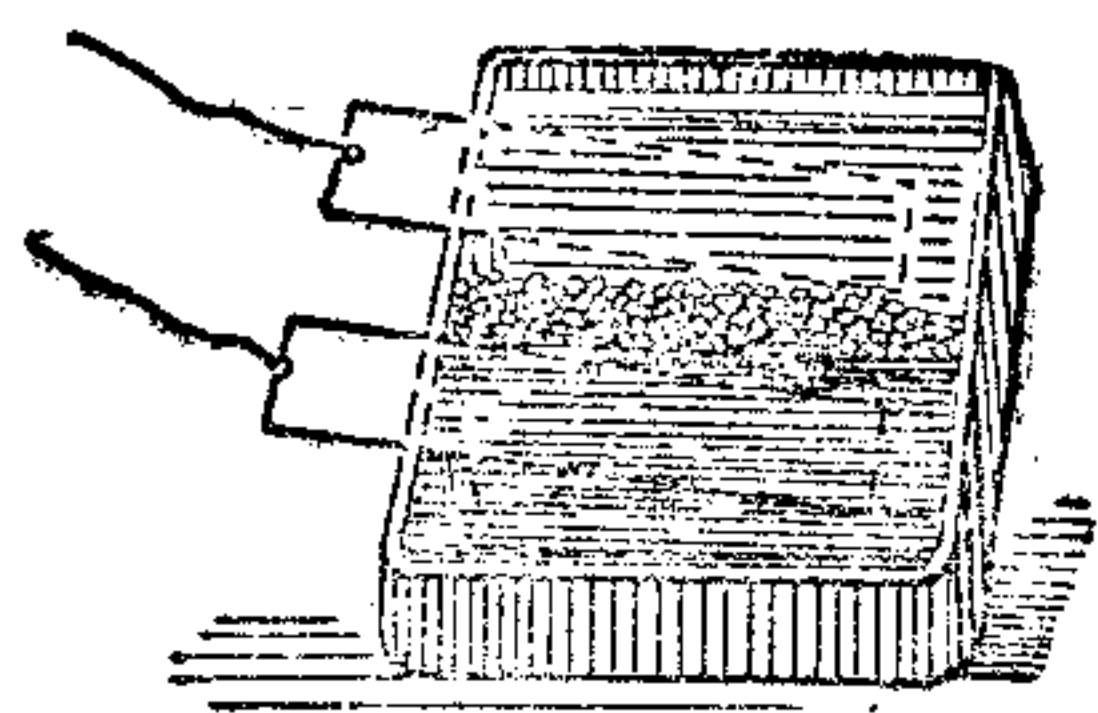


Рис. 50.

Вот другой пример химического действия. Берем снова платиновые пластинки и погружаем их в медный раствор, из которого мы прежде осадили часть меди, поместив в него одновременно платину и цинк. Вы видите, что платиновые пластинки сами-по-себе не производят никакого химического действия на раствор: они могут оставаться в нем сколько угодно времени, не осаждая из него меди. Но как только я соединяю их с проводами батареи, так сейчас же химическое действие, превращающееся в батарее в электричество и передающееся по проводам, снова обнаруживается как химическое действие у двух платиновых полюсов, осаждая с левой стороны медь из раствора на платиновую пластинку. Я мог бы показать вам много таких любопытных примеров тех удивительных путей, по которым химическое действие или электричество может быть перенесено с места на место. Замечательный самородок золота (модель которого находится в другой комнате) представляет особенно интересное явление в истории золота. Он был найден в Балларате и по выплавлении его, в ноябре 1859 г., стоил от восьми до девяти тысяч фунтов стерлингов. Самородок этот был образован в недрах земли, быть может, много сотен лет тому назад какой-нибудь силой, подобной тем, которые я вам показывал. А вот еще один замечательный результат действия химического средства: прекрасное свинцовое дерево, которое находится перед нами¹, образовалось также под влиянием этой силы,

¹ Свинцовое дерево готовят, пропуская пучок медных проволок через пробку бутылки и укрепляя вокруг них в том месте,

путем постепенного нарастания свинца. Способ соединения свинца и цинка в маленьком гальваническом приборе имеет для нас важное значение. В природе постоянно и незаметно происходят подобного рода действия; они чрезвычайно важны для осаждения металлов, образования минеральных жил и т. д. Эти малые действия не ограничены временем, как в моей батарее, а продолжают неопределенно долго, производя, таким образом, с веками огромные результаты.

Я показал вам несколько примеров превращения химического средства в электричество и электричества в химическое средство. Ограничимся покуда ими и постараемся ознакомиться немного глубже с химическим средством или электричеством, — я не знаю, какую силу назвать прежде, так как каждая из них переходит в другую весьма различными путями.

Силы эти замечательны также своей способностью производить еще одну из известных нам сил, а именно магнетизм. Вы наверно знаете, что эта способность электричества и химической силы производить магнетизм стала известна лишь в последнее время. Естествоиспытатели давно предчувствовали это родство между названными силами и давно уже питали надежду доказать существование его¹. В науке всегда сперва начинают с надежд и ожиданий, и когда они осуществляются, то на них опять основывают

где они выходят из пробки, лист цинка так, чтобы цинк был в прикосновении с каждой из проволок. Проволоки должны расходиться, образуя конус. Бутылку наполняют почти доверху раствором свинцового сахара, вставляют в нее пробку с проволоками и замазывают сургучом так, чтобы совершенно прекратить доступ воздуха. Кристаллы металлического свинца начинают в короткое время покрывать расходящиеся проволоки, образуя красивую деревообразную массу (K).

¹ Открытие связи между электричеством и магнетизмом обычно приписывают Эрстеду (1771—1851 гг.), опубликовавшему в 1820 г. свои наблюдения над отклонением магнитной стрелки током. Эрстед, однако, имел предшественников, в той или иной форме указывавших на родство электричества и магнетизма. Из них следует упомянуть Романьози (1761—1835 гг.), Мансона (1772—1836 гг.) и Швейгера (1779—1857 гг.).

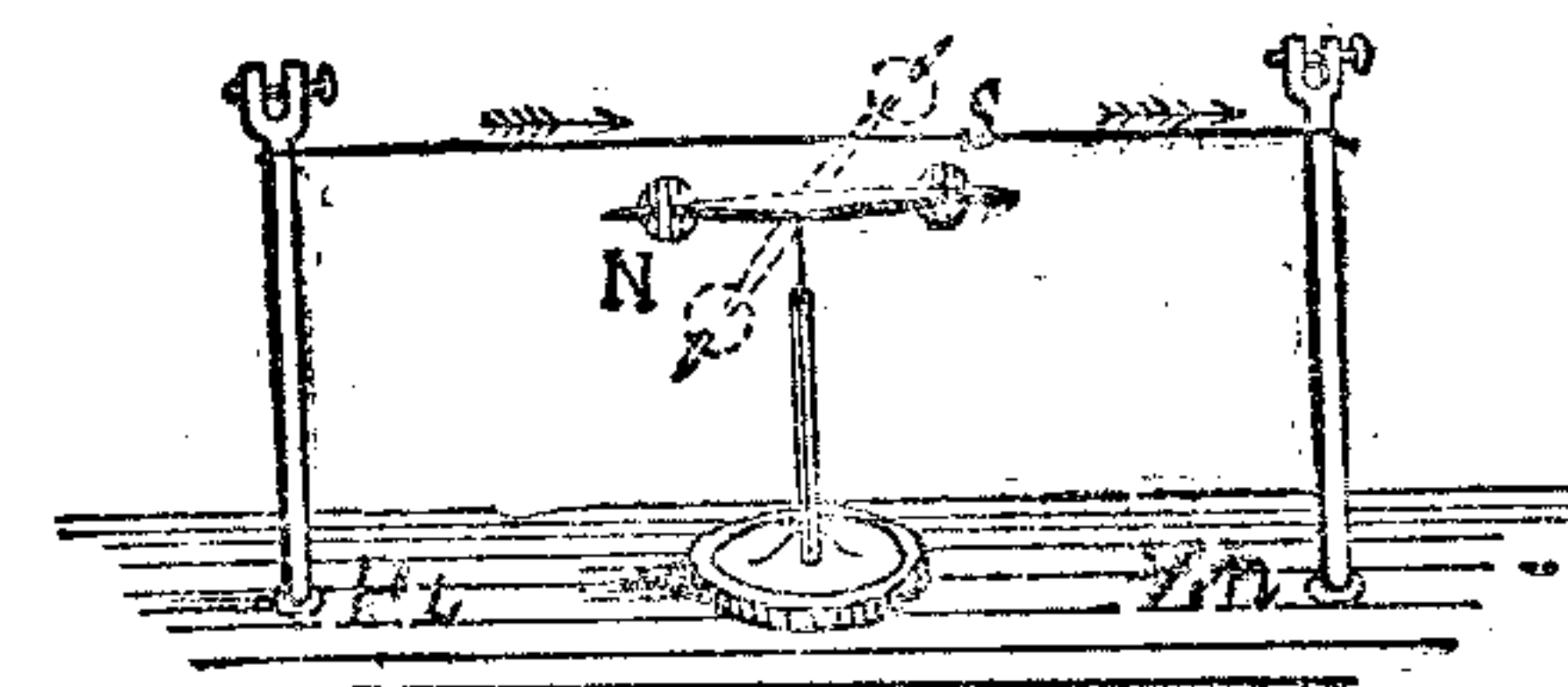


Рис. 51.

новые ожидания, дальнейшие открытия; таким путем наука идет все вперед, преследуя известную мысль, осуществляя ее, добывая результаты и основывая на них дальнейшие надежды.

Проделаем теперь следующий опыт. Вот кусок проволоки, из которого я сделаю мост для силы, т. е. попросту говоря соединю им оба конца батареи. Эта простая медная проволока сама-по-себе не обнаруживает магнетизма. Мы испытаем ее с помощью нашей магнитной стрелки: действительно, покуда проволока соединена с одним лишь концом

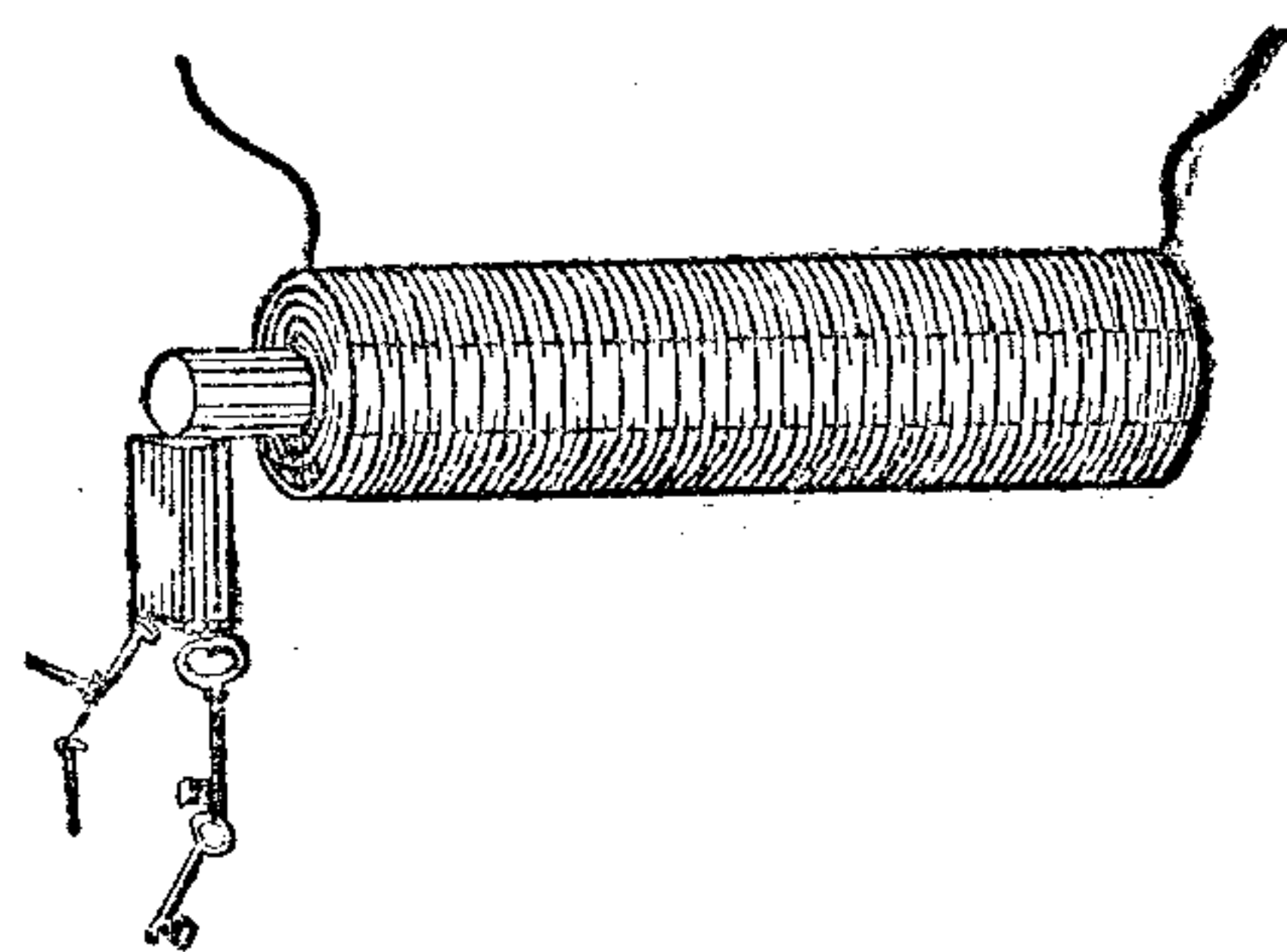


Рис. 52.

батареи, она не оказывает никакого действия на магнитную стрелку (рис. 51), но вот я соединяю оба конца, и вы видите, как стрелка поворачивается и становится на то же место, как только я размыкаю цепь батареи. Отсюда можно заключить, что проволока во время прохождения через нее электрического тока, очевидно, действует на магнитную стрелку. Я хочу показать вам этот опыт немного нагляднее. Беру очень длинную проволоку, свернутую в спираль; действие ее на нашу стрелку будет очень интересным: благодаря своей форме она будет на нее действовать почти как настоящий магнит¹. Однако медная спираль сама-по-себе не действует на магнитную стрелку; но что произойдет, если я пушу по ней электрический ток, соединив концы ее с полюсами батареи? Смотрите, как спираль сильно притягивает один конец стрелки, отталкивая другой конец ее. Таким образом, вы видите, что со спиралью я получил такой же результат, как с настоящим магнитом. Не замечательно ли, что мы можем устроить магнит из меди? Далее, я помещаю железную полосу в медную спираль. Покуда через проволоку не проходит электрический ток, спираль не оказывает никакого действия на эту полосу: полоса совершенно не притягивает желез-

¹ Эта форма провода изобретена в 1820—1822 гг. Ампером, назвавшим ее соленоидом.

ных опилок. Но когда я соединю концы спирали с батареей, полоса сейчас же начинает притягивать железные опилки. Она сразу стала настолько сильным магнитом, что притягивает теперь к себе несколько кусков железа (рис. 52), лежащих на столе в разных местах¹. На другом опыте я покажу вам особенности электромагнитного притяжения. Вы видите, что этот кусок железа и многие другие куски с силой притягиваются к полосе, однако, как только я прерываю соединение спирали с батареей, магнитная сила исчезает. Что может быть лучшим и более строгим доказательством соотношения между электричеством и магнетизмом? Я беру маленький кусок железа, еще не намагниченный. Сейчас он не притягивает ни одного из этих гвоздей. Теперь я возьму кусок проволоки и обовью ее вокруг этой железной подковы (проволока должна быть покрыта шелком, чтобы медь не соприкасалась с железом), так что электрический ток должен проходить по виткам этой спирали. Я сделал таким образом электромагнит. Этим названием мы выражаем то, что

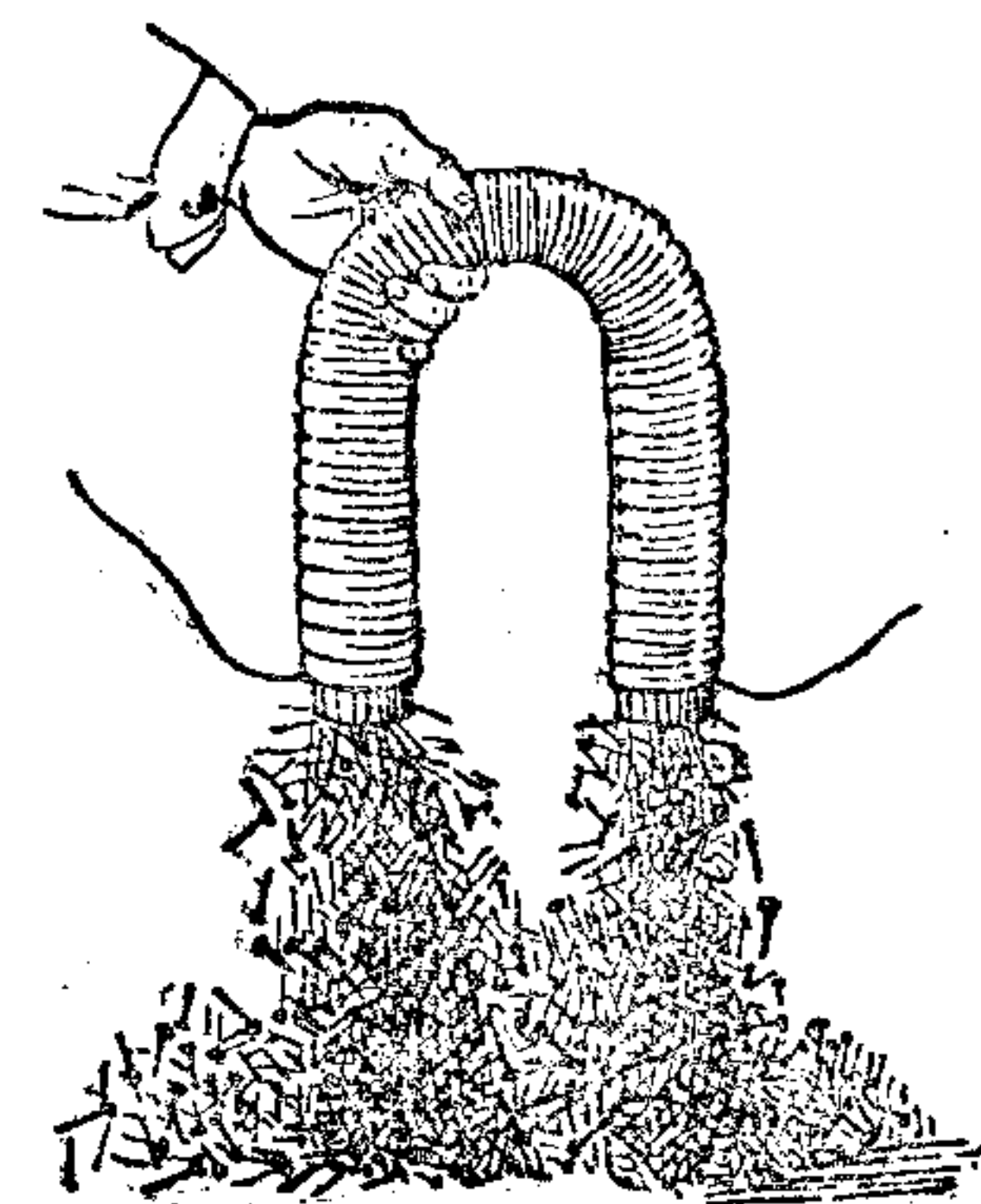


Рис. 53.

здесь с помощью силы электричества получается магнит, притом магнит гораздо более сильный, чем обыкновенный стальной магнит. Теперь электромагнит готов, и я повторю уже виденный вами опыт с образованием моста из железных опилок. Я соединяю спираль с батареей. Теперь через нее проходит ток, и она становится мощным магнитом. Вот здесь лежат железные опилки, которые мы употребляли в прошлый раз. Когда я подношу к ним наш магнит, они пристаю к нему так сильно, что я едва могу подвинуть их рукой (рис. 53), и отпадают, как только прерывается контакт. Что может лучше, чем этот опыт, показать вам магнитное притяжение, которым мы наделили кусок железа?

¹ Кто был изобретателем электромагнита — неизвестно. Часто называют Ампера, наблюдавшего притяжение железных опилок током. Во всяком случае уже в 1826 г. Брюстер (1781—1868 гг.) и Стрэджен (1783—1850 гг.) устроили большие электромагниты.

Рассмотрим еще один пример могущественной силы магнетизма. Перед нами такой же магнит. Я пропускаю ток через обвивающие его провода, чтобы показать, какой мощный эффект мы получим. Вот полюсы этого магнита. Положим на один из них длинную железную полосу. Оказывается, что как только произведено соединение, полоса сейчас же принимает определенное стойкое положение (рис. 54). Если я возьму железный цилиндр, то он притянется к магниту так сильно, что мне будет больно, если я попробую всунуть палец между ними. Я могу катать цилиндр,

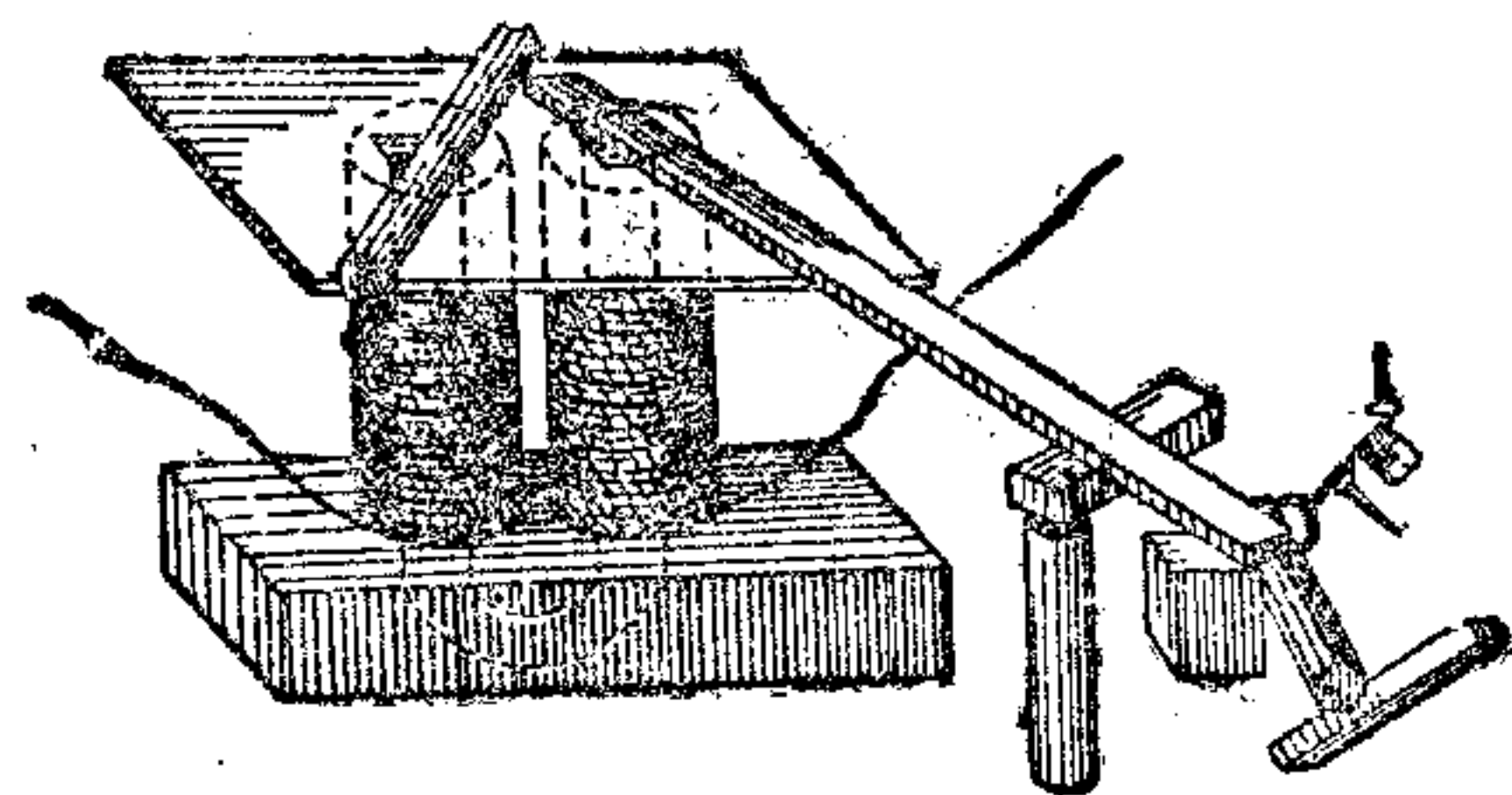


Рис. 54.

но если я попробую оторвать его, у меня нехватит сил, чтобы преодолеть проявляющуюся силу магнетизма. Далее, я кладу на магнит длинную железную полосу и не сомневаюсь, что другой конец ее проявит теперь значительную магнитную силу; вы видите, он удерживает не только гвозди, но и все эти куски

железа, следовательно, он обладает весьма значительной силой. Ну, что может превзойти это доказательство перехода химической силы в электричество и электричества в магнетизм! Я мог бы показать вам еще несколько таких опытов, где я бы получал из магнита электричество и химическую силу, теплоту и свет. Нужно ли, однако, показывать вам еще что-нибудь, чтобы доказать всеобщее соотношение сил материи и их взаимные превращения?

А теперь отдадим дань уважения старшим. Прежде всего позвольте мне обратиться к тем из взрослых, кто почтил меня своим присутствием на этих лекциях. Я хочу сейчас выразить им свою благодарность, а также поблагодарить вас за внимание, с которым вы следили за моими лекциями. Я надеюсь, что познания, которые вы приобрели теперь о некоторых законах, управляющих вселенной, поведут некоторых из вас к полнейшему и более всестороннему изучению этих законов. В самом деле, какие науки более свойственны уму человека, чем науки естественные? И что помогает человеку больше всего проникать в дей-

ствие тех законов, познание которых показывает, как интересны даже самые незначительные явления природы, и обнаруживает

«...язык в деревьях, книгу в ручьях,
Летописи в скалах и всюду гармонию...»

БИБЛИОГРАФИЯ на русском языке

1. М. Фарадей — История свечки. Перевод под редакцией, с вступительным очерком и примечаниями З. А. Цейтлина. ГАИЗ 1937.
2. М. Фарадей — Избранные экспериментальные исследования. Перевод под редакцией, с вступительным очерком и примечаниями З. А. Цейтлина. ГОНТИ 1939.
3. Джон Тиндаль — Фарадей и его открытия. С добавлением Гельмгольца.
4. В. Оствальд — Великие люди. Отдельное издание главы «М. Фарадей».
5. Я. Абрамов, А. Аненская, Воеводин, Кокосов — библиографические очерки под названием «М. Фарадей».
6. М. Радовский — Фарадей. Серия «Жизнь замечательных людей». Выпуск 19—20. 1936.
7. Ф. Энгельс — Диалектика природы. В особенности статья «Электричество» и места, относящиеся к понятию силы. См. предметный указатель к «Диалектике природы», а также «Анти-Дюринг», оценку гегелевской критики ньютонова понятия силы.

СОДЕРЖАНИЕ

3. Цейтлин — Михаил Фарадей (краткий биографический очерк)	3
Лекция I. Сила тяготения	23
Лекция II. Тяготение. Сила сцепления	40
Лекция III. Сцепление. Химическое сродство	56
Лекция IV. Химическое сродство. Теплота	72
Лекция V. Магнетизм. Электричество	84
Лекция VI. Соотношение физических сил	97

ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Следует
44	8 снизу	связывают	связывает
»	9 »	которые	которое
72	1 » (сноска)	«побеждаю»	«порождаю»
»	2 » »	«hydroger»,	«hydrogen»,
91	7 »	NS	ns (рис. 40)
»	6 »	N	n
»	5 »	S	s
95	5 » (сноска)	Уатстону	Уатсону
В нескольких случаях		кристал	кристалл

Фарадей — Силы материи и их взаимоотношения.

М. Фарадей. Силы материи и их взаимоотношения. Государственное антирелигиозное издательство 1940 г. Индекс В-3. Издат. № 24.

Редактор З. Цейтлин. Технический редактор Л. Потапова. Корректор Е. Шаров. Одано в набор 26/V-39 г. Подписано к печати 19/XI-1940 г. Формат 84 × 108^{1/2}. Объем 1,75 бум. л., 7 печ. л., 5,82 авт. л., 6,27 уч.-изд. л., 37 152 тип. знаков в печ. л. Тираж 20.000 экз. Бумага № 2 Каменской писчебумажной фабрики им. О. М. Кирова. Л44065.

Цена книги в переплете 2 р. 50 к.

17-я ф-ва нац. книги ОГИЗ'а РСФСР треста «Полиграфкнига», Москва, Шлюзовая наб., 10. Отпечатано с матриц в типографии «Известий Советов депутатов трудящихся СССР». Москва. Зак. 3789.