

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-  
тений. 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 оупляющего 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 иод<sup>1</sup>.

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

<sup>1</sup> 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 расписал 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 тока<sup>1</sup>. 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.

<sup>1</sup> Открытие Эрстедом и другими действия тока на магнитную стрелку навело на мысль о возможности получения эффекта более специального характера, именно, взаимообращения 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 движений<sup>1</sup>. 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 закона<sup>2</sup>, 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-

<sup>1</sup> 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.).

<sup>2</sup> 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 протонов<sup>1</sup>. 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.

<sup>1</sup> 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 I<sup>1</sup>

### 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 сил<sup>2</sup>, или способностей. Эти силы, или способности, столь

<sup>1</sup> 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.

<sup>2</sup> 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 силами<sup>1</sup>, 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 дюймов<sup>2</sup> 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).

<sup>1</sup> 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.

<sup>2</sup> 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 бумагу<sup>1</sup>.

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-

<sup>1</sup> 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 поперечнике<sup>1</sup>.

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.

<sup>1</sup> 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  $\frac{1}{2}$  пинты<sup>1</sup>, 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 платины<sup>2</sup>, который я держу в руках, тоже тяготеет к

<sup>1</sup> Пинта равна одному литру.

<sup>2</sup> 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 алюминия<sup>1</sup>, 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 известь<sup>2</sup>, 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 Земле<sup>3</sup>.

---

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.

<sup>1</sup> 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.

<sup>2</sup> 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.

<sup>3</sup> 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 купорос<sup>1</sup>, 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 гири<sup>2</sup>: 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.

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

<sup>2</sup> 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-

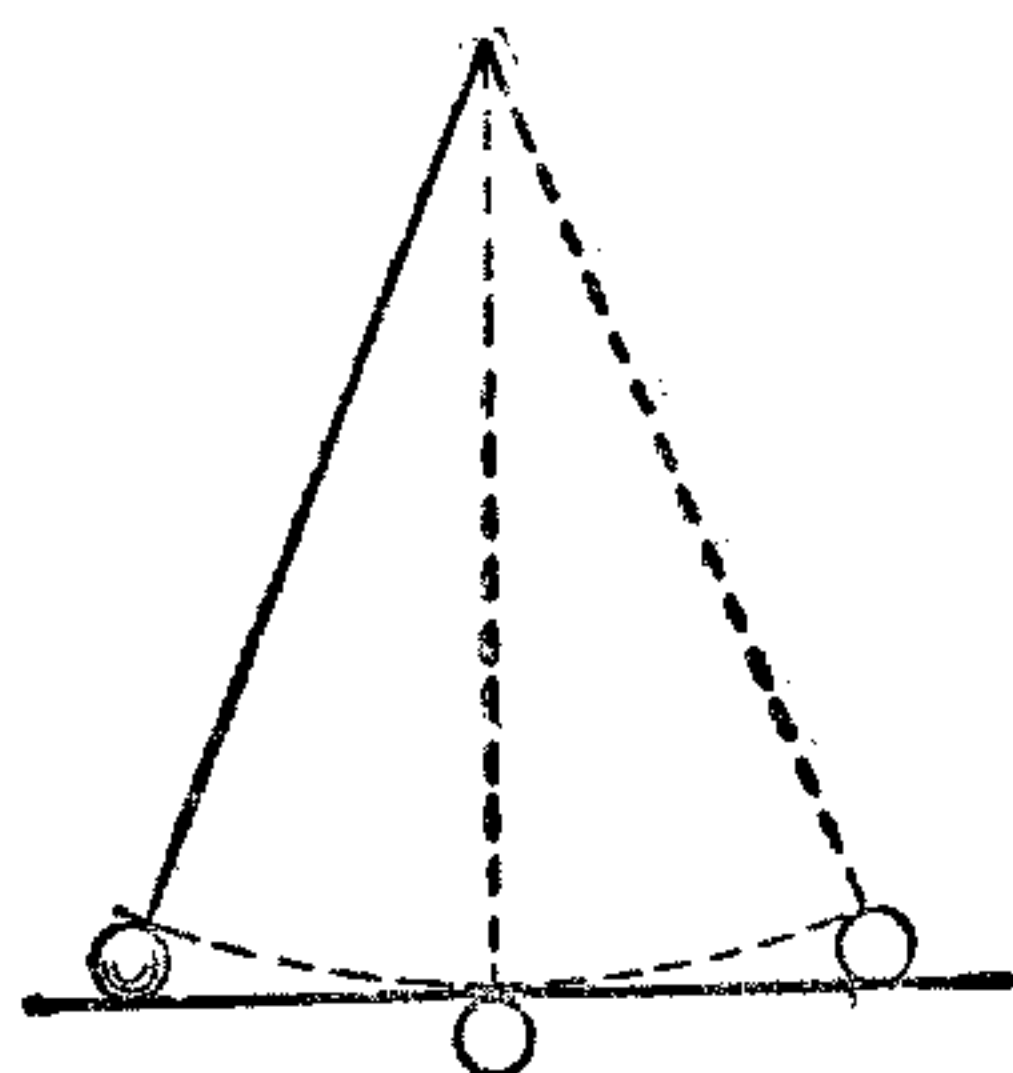


Рис. 1.

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 друга<sup>1</sup>. 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, тяготеют к ней. Не смущайтесь тем, что я употребляю это слово: ибо когда я говорю, что медный грош тяготеет 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 меняется<sup>2</sup>. 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

<sup>1</sup> 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.

<sup>2</sup> 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 мрамору<sup>1</sup> немного жидкости и таким образом разложу его, то нам покажется, будто жидкость кипит, что происходит лишь вследствие отделения одной части мрамора от другой. Проведем этот опыт. Несколько кусков мрамора я помещаю в стеклянный сосуд и наливаю на них воды и кислоты: немедленно

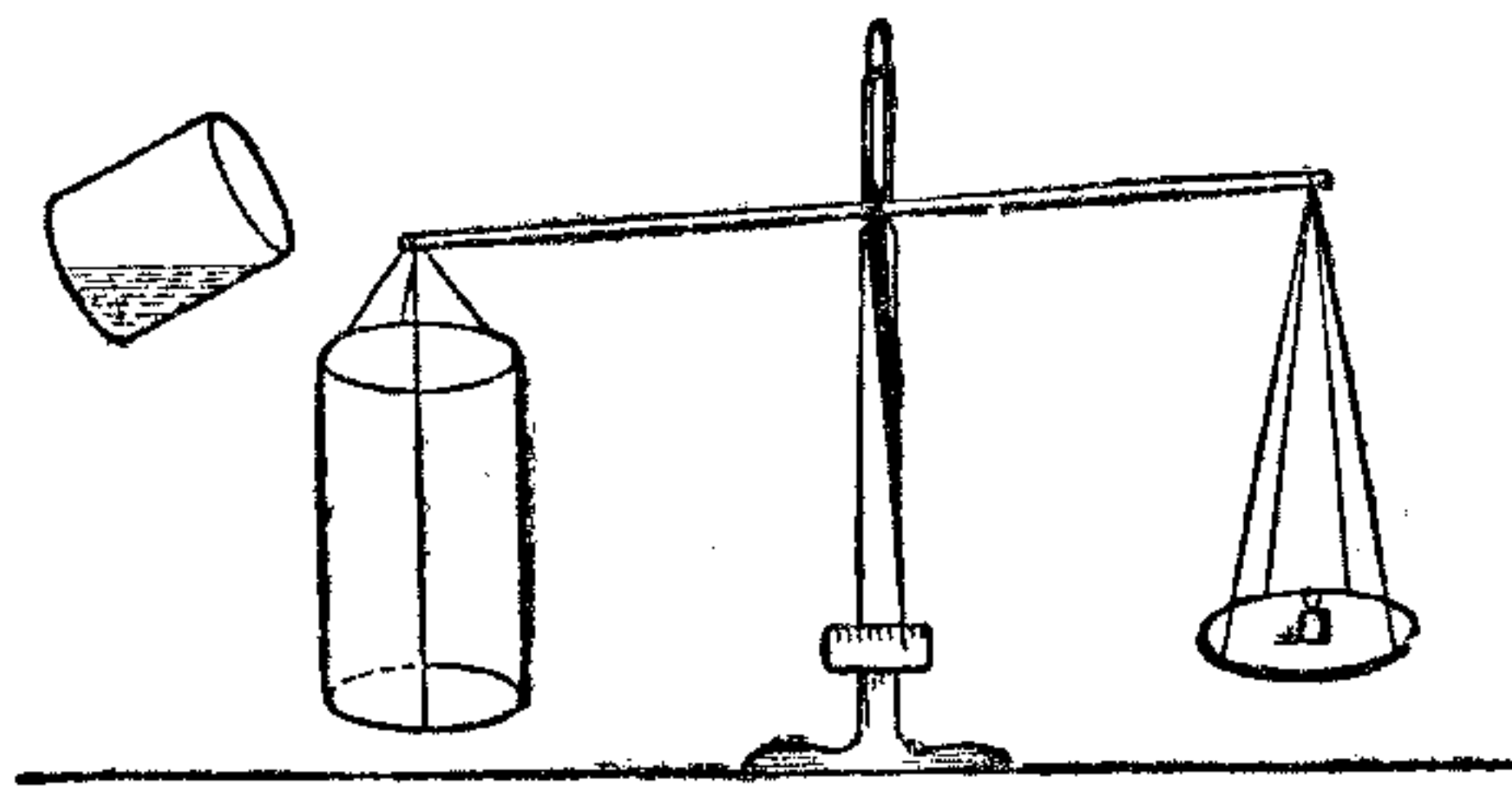


Рис. 2.

начинает 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 газа<sup>2</sup>, выде-

<sup>1</sup> Мрамор представляет собой кристаллическую соль кальция ( $\text{CaCO}_3$ ). При действии серной кислоты ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) получается сернокислая известь ( $\text{CaSO}_4$ ) и угольная кислота ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), распадающаяся на углекислоту ( $\text{CO}_2$ ) и воду ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Углекислота в обычных условиях — бесцветный газ тяжелее воздуха. Фарадей, пользуясь сильным давлением, превратил этот газ в жидкость, Тилорье — в твердое тело.

<sup>2</sup> 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 —  $118^\circ$ . В дальнейшем были получены жидкий водород ( $-242^\circ$ ) и другие газы.

лившегося из мрамора, но вы видите, что, хотя эта часть мрамора и приняла вид воздуха, она все же тяготеет точно так же, как прежде. Посмотрим, перетянет ли кусок бумаги, который я положил на противоположную чашку весов. Да, он перетягивает его, даже более того, он почти что перетягивает и второй кусок бумаги, который я прибавил к первому. Вы видите, таким образом, что и другие формы материи, кроме твердой и жидкой, стремятся падать к Земле. Вы поэтому согласитесь со мной, когда я скажу вам, что все тела имеют свойство тяготения, в каком бы виде или состоянии они ни находились. Вот другой химический опыт, который очень легко произвести: я выливаю немного углекислоты из одного сосуда в другой. При ее присутствии в последнем обнаруживается тем, что помещенная в сосуде зажженная восковая свеча немедленно потухает. Это также показывает нам, что углекислота имеет способность тяготения. Таким образом, сделанные опыты доказывают, что как бы мы ни испытывали пар или газ, посредством ли весов или переливая его, как воду, из одного сосуда в другой, мы в обоих случаях видим, что он, подобно другим телам, притягивается к Земле.

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 дробин есть одна точка, которая может рассматриваться как точка, в которой сосредоточена вся сила тяготения отдельных дробин: 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).

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 —  $118^\circ$ . В дальнейшем были получены жидкий водород ( $-242^\circ$ ) и другие газы.

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

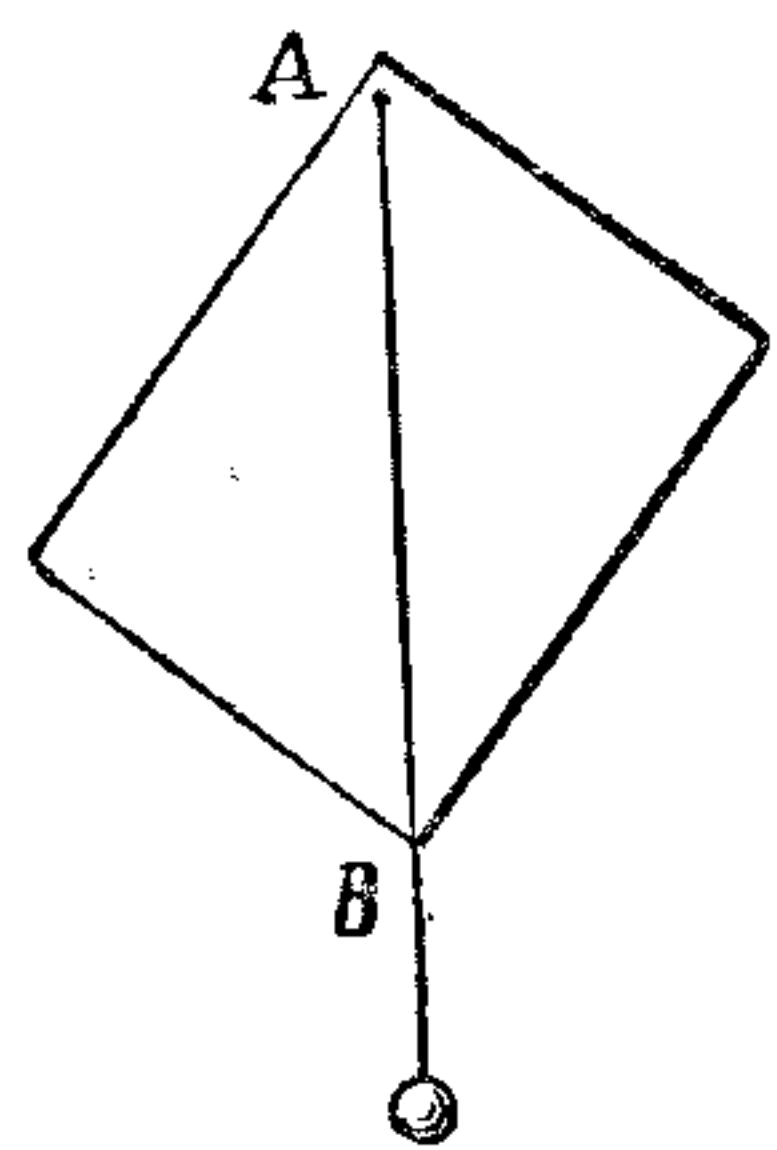


Рис. 3.

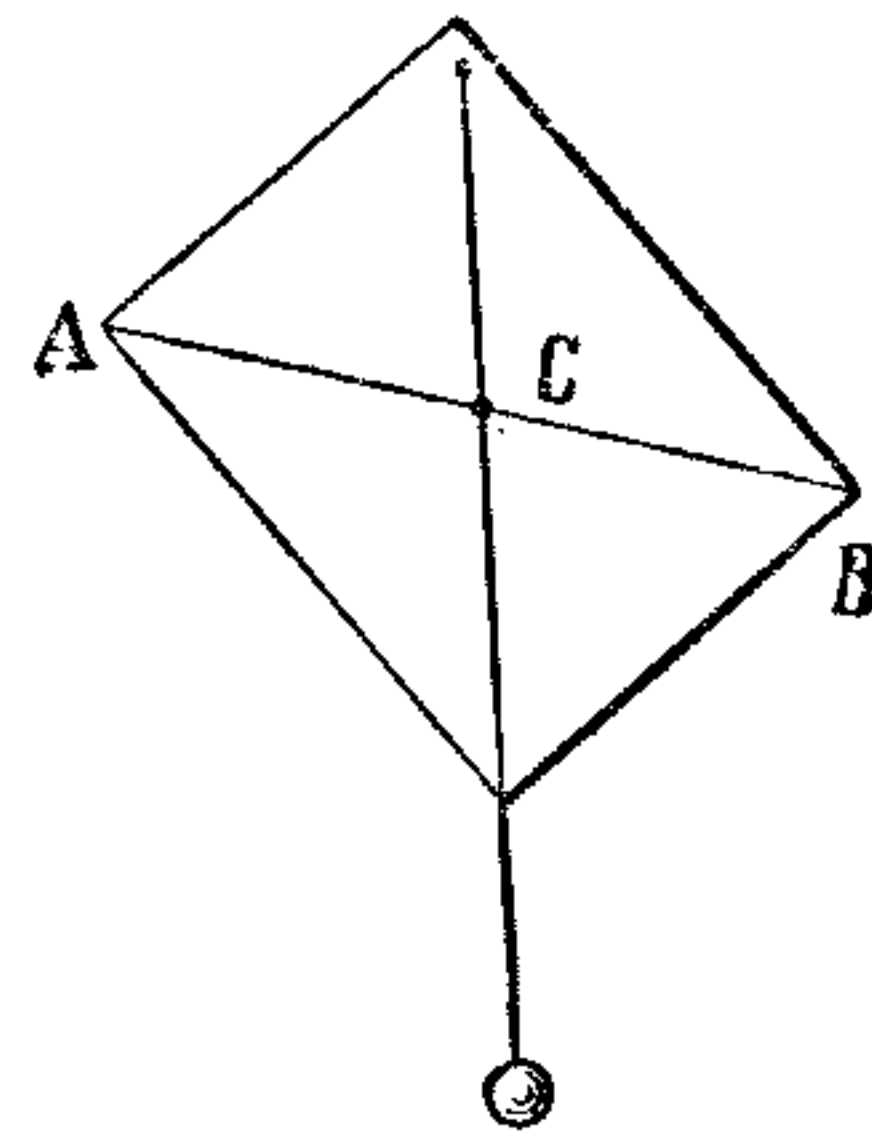


Рис. 4.

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-

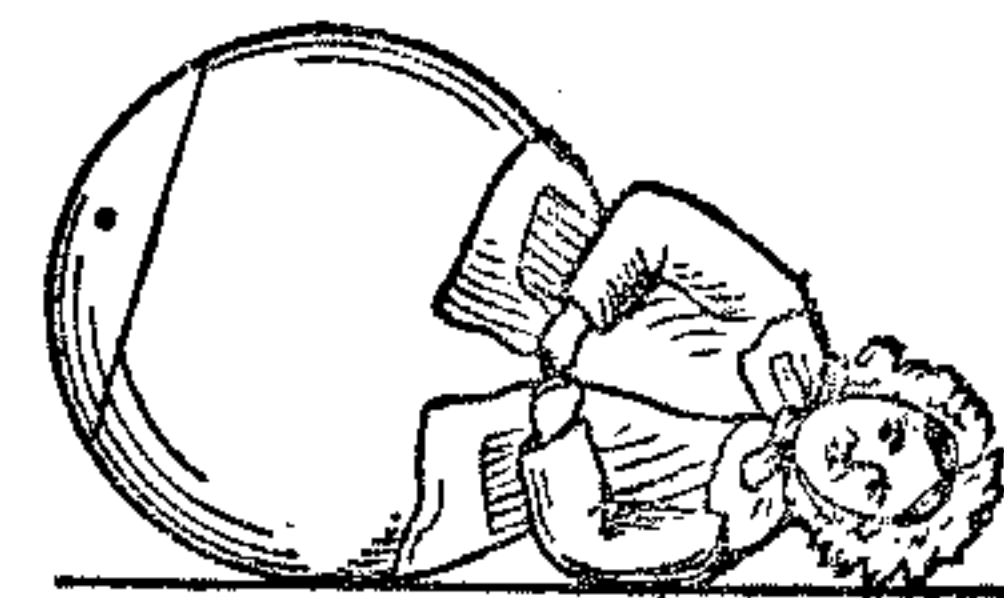


Рис. 5.



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 бутылку, 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 бутылке, содержащей золотой листок, и начну качать ее наподобие маятника, то могу заставить ее колебаться так сильно, как это мне угод-

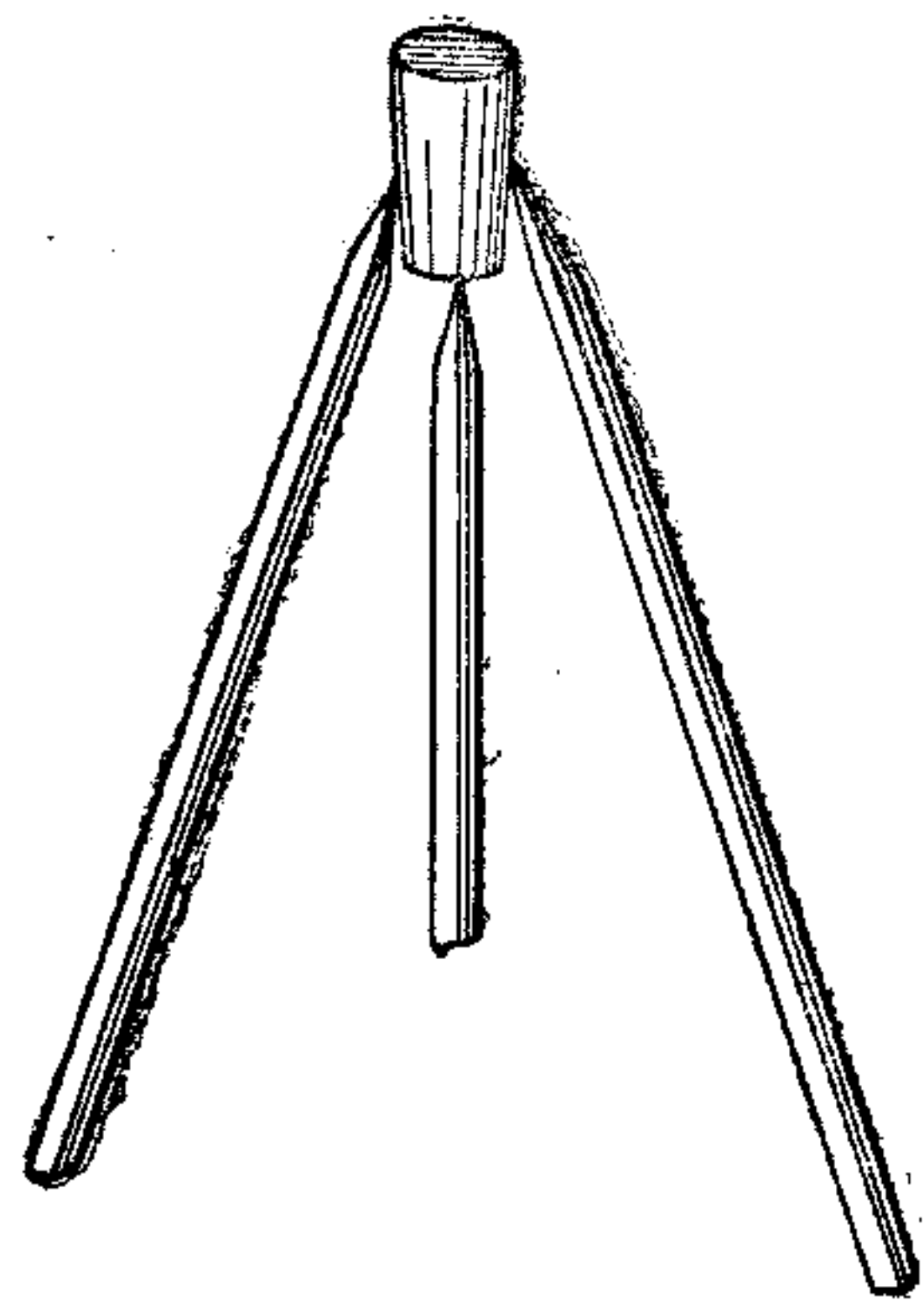


Рис. 10.

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 бутылку 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 несколько 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 воздуха<sup>1</sup>.

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

<sup>1</sup> 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 время<sup>1</sup>. 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 золото<sup>2</sup>.

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.

<sup>1</sup> 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.

<sup>2</sup> 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 Земли<sup>1</sup>. 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

<sup>1</sup> 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 миль<sup>1</sup>; 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 Урана<sup>2</sup>. 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

<sup>1</sup> Английская миля равна приблизительно 1,6 км.

<sup>2</sup> 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-

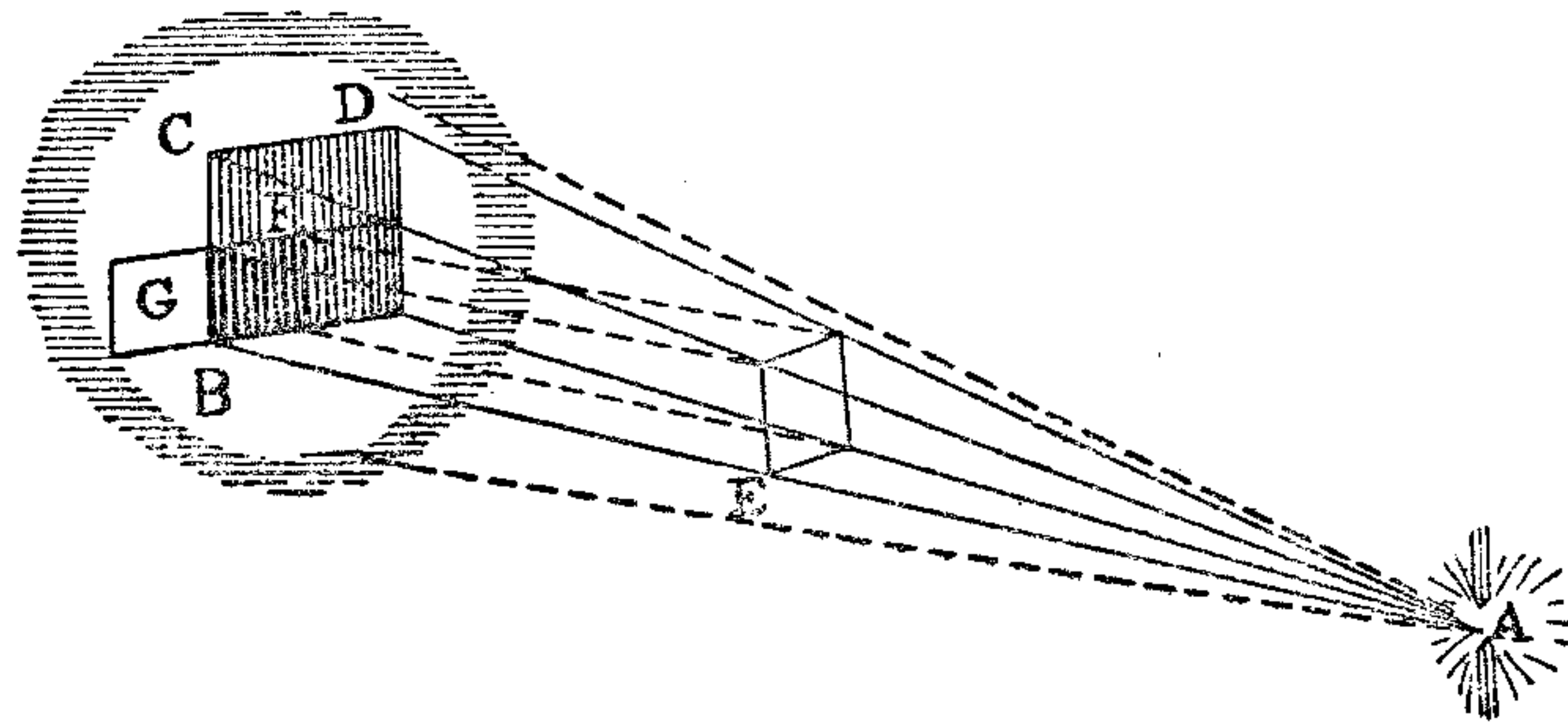


Рис. 11.

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 частицы<sup>1</sup>. 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 покуда 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 друга<sup>2</sup>.

Я мог бы заставить мышь пробежать под этой аркой, а

<sup>1</sup> 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.

<sup>2</sup> 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

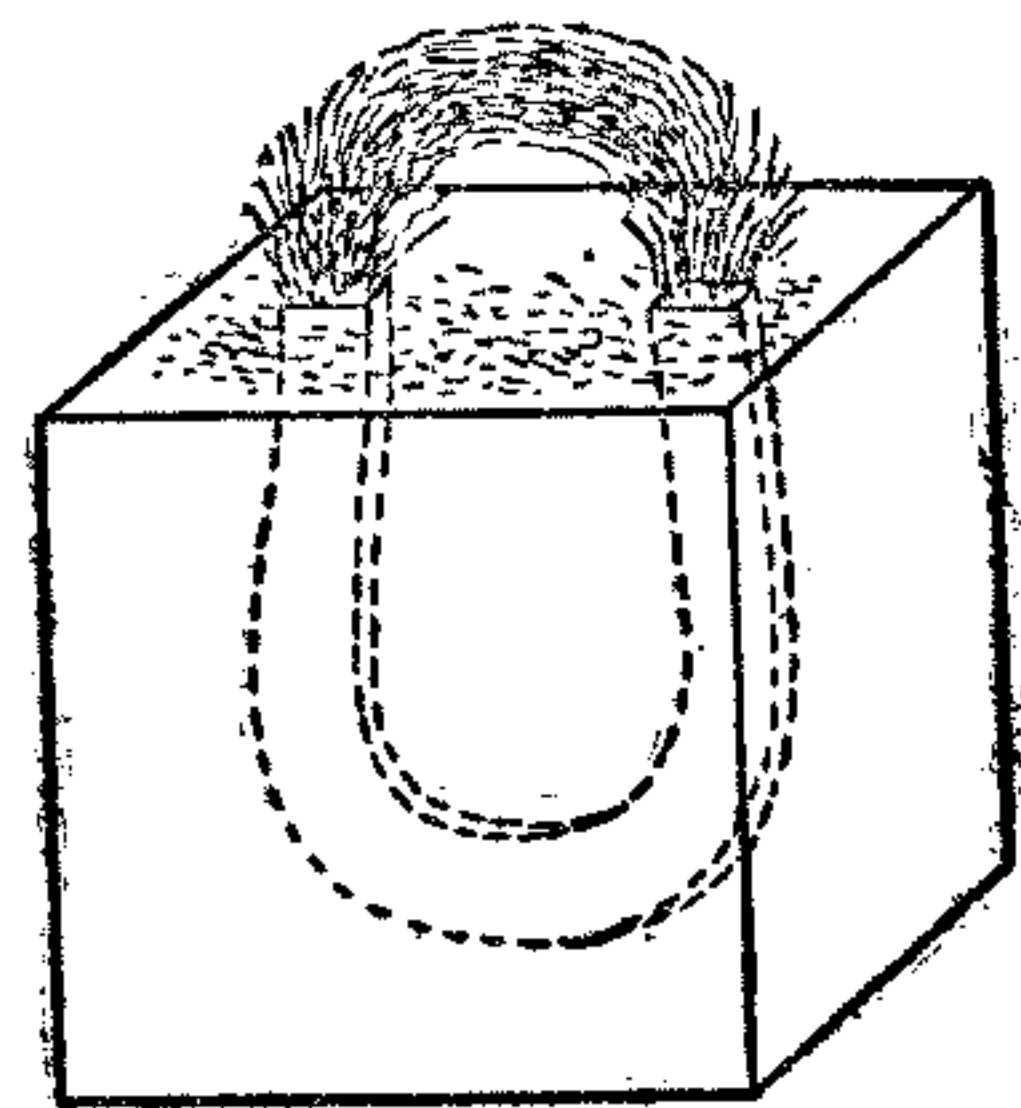


Рис. 12.

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 другого<sup>1</sup>.

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.

<sup>1</sup> Сопротивление на разрыв различных металлов и сортов металла различно. Так, оно достигает у чугуна 1800 кг, на см<sup>2</sup>, 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 массу<sup>1</sup>.

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,

<sup>1</sup> 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, пароходы<sup>1</sup> 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 красный<sup>2</sup>. Я заранее приготовил немного этого красного вещества, которое вы видите здесь в жидкости, и покрыл им бумагу.

Вот несколько листов бумаги, приготовленных таким образом<sup>3</sup>. 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

<sup>1</sup> 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.

<sup>2</sup> 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).

<sup>3</sup> 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.

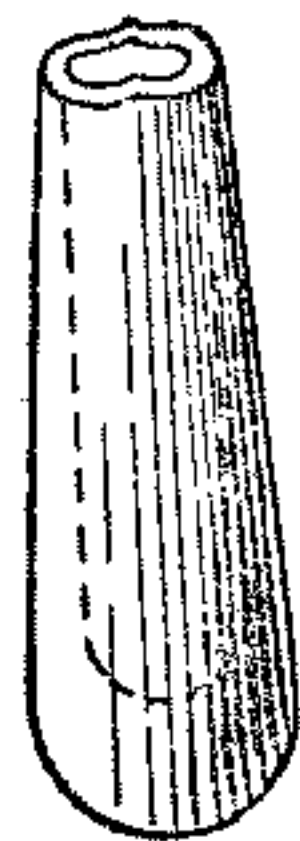


Рис. 14.

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 каплями<sup>1</sup> 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

<sup>1</sup> 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 прокалено<sup>1</sup>. 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 сито<sup>2</sup>.

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-

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

<sup>2</sup> 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 слюдой<sup>1</sup>. 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.

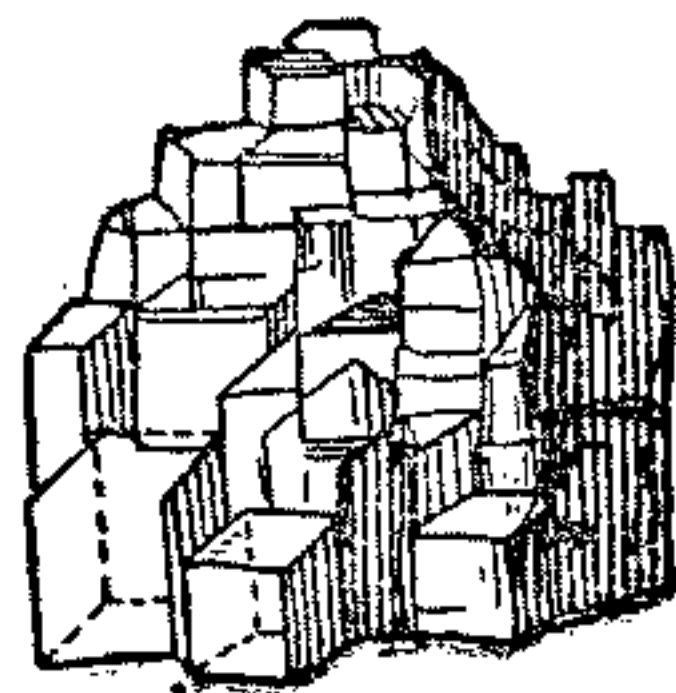


Рис. 16.

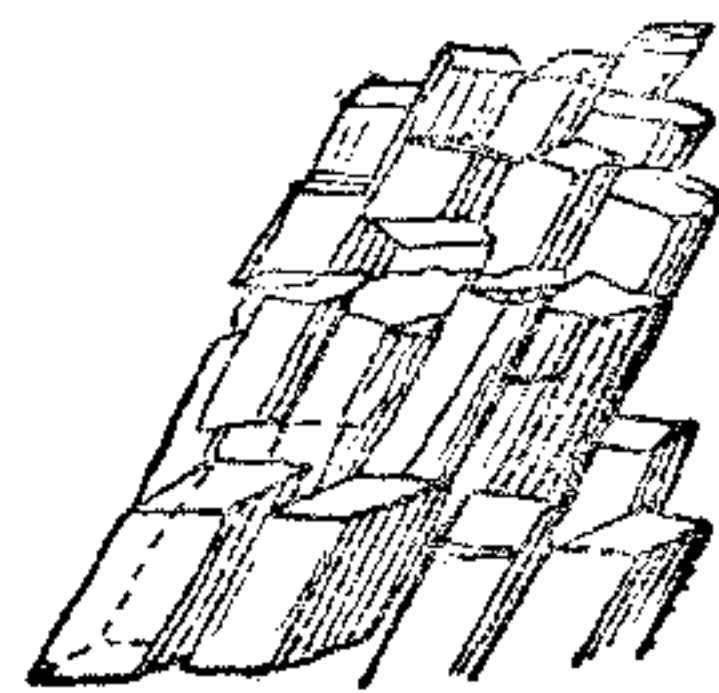


Рис. 17.

много простой поваренной соли<sup>2</sup> (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.

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

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

Я беру теперь другой минерал, называемый исландским, или известковым, шпатом<sup>1</sup>, 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 него<sup>2</sup>, 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, нет<sup>3</sup>. Всякое тело производит на свет более или ме-

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

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

<sup>3</sup> 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

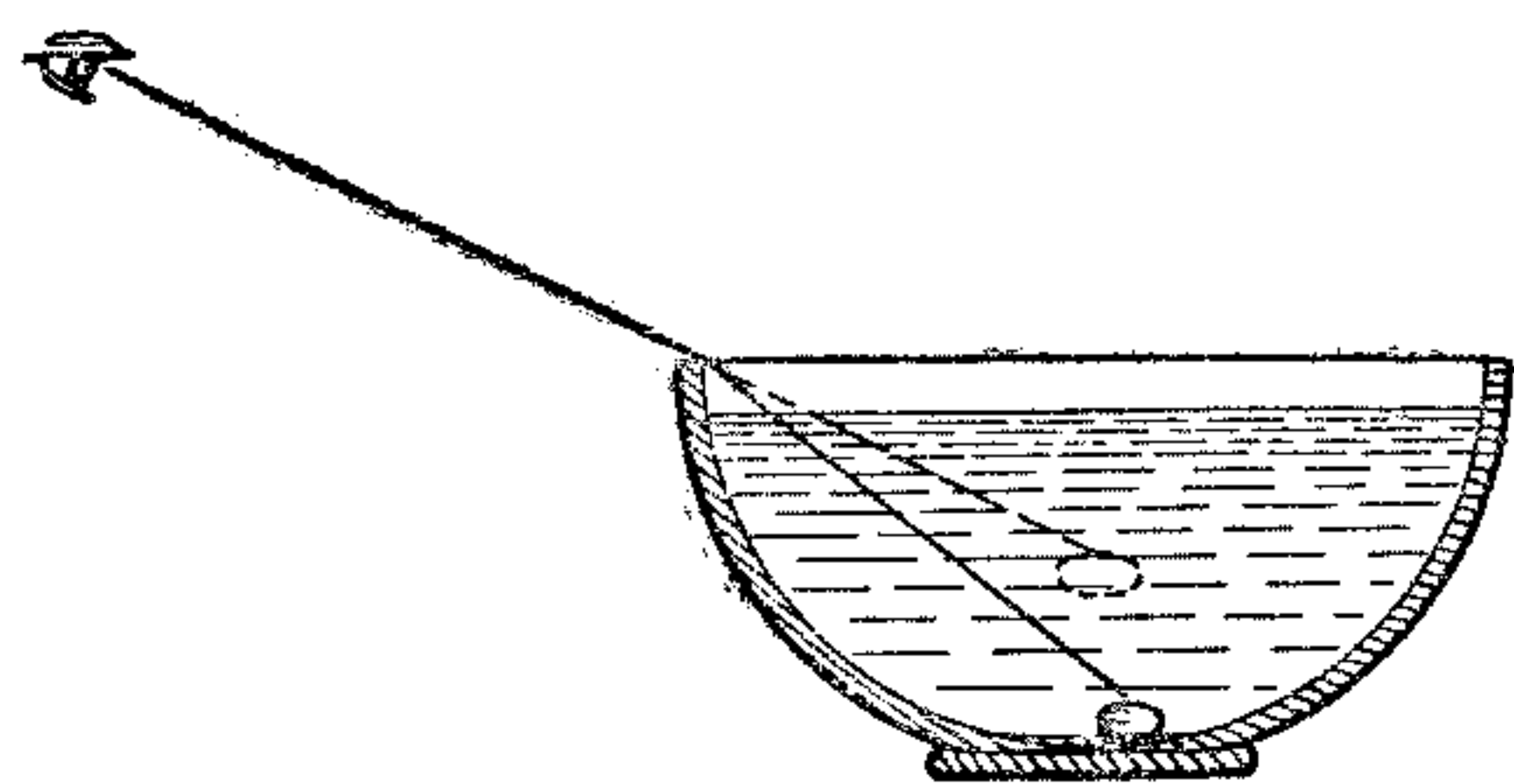


Рис. 18.

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 соль<sup>1</sup>, 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.

<sup>1</sup> 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-

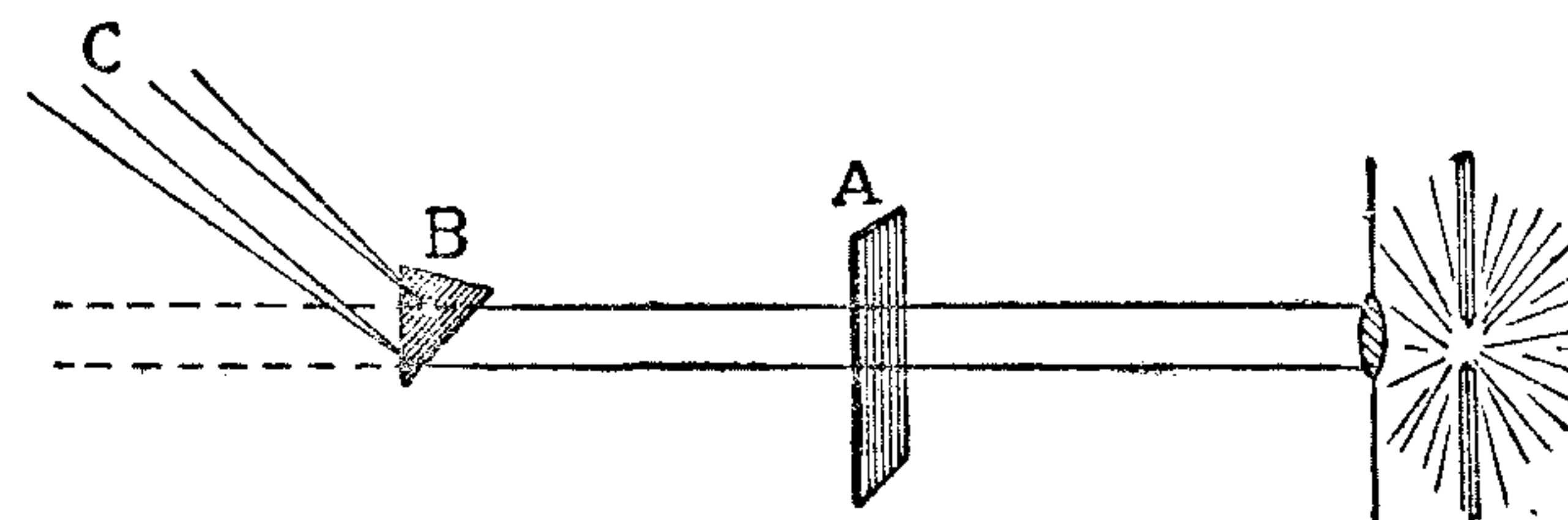


Рис. 19.

ром. Эти лучи света отклонены от своего направления притяжением, производимым на них стеклом<sup>1</sup>. 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.

<sup>1</sup> 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 его<sup>1</sup>. 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.

<sup>1</sup> 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!

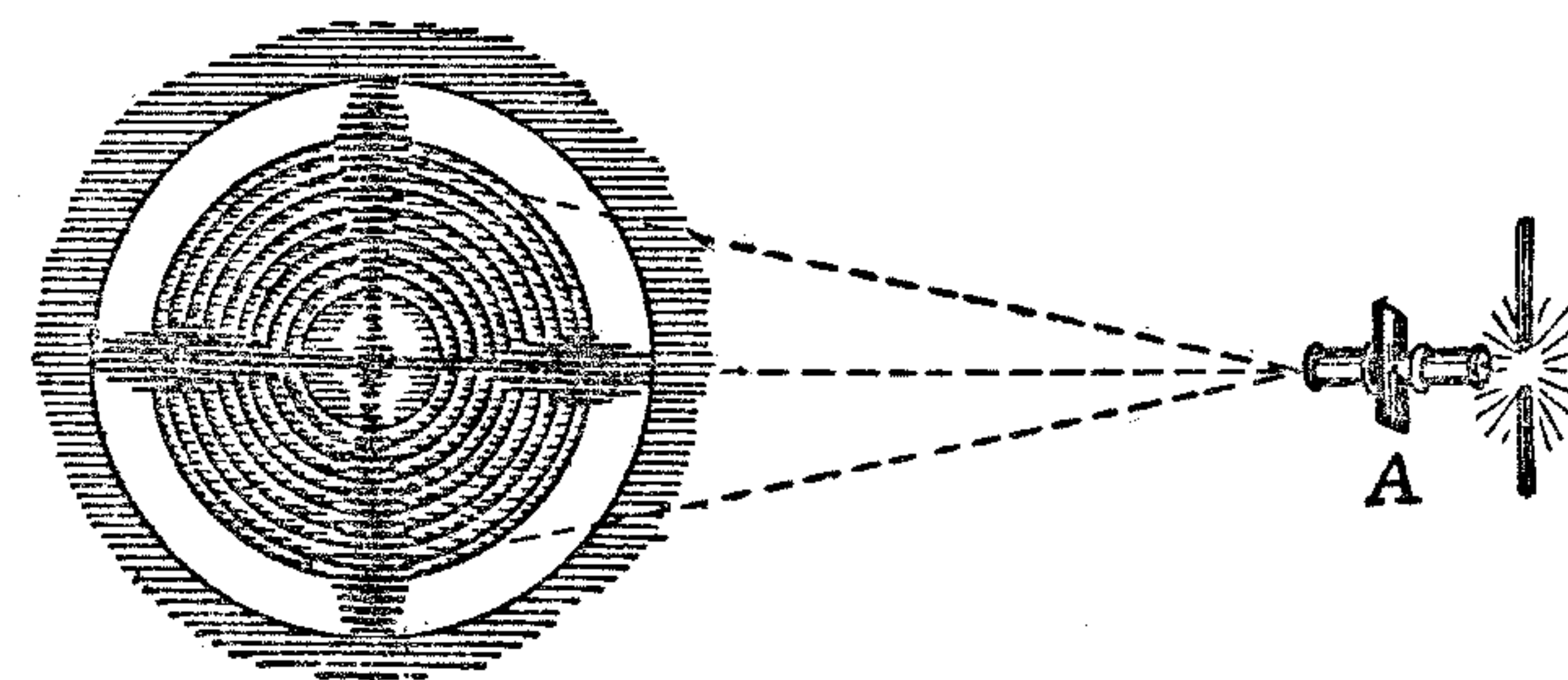


Рис. 20.

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 остриями, 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 направлениям<sup>1</sup>.

### Лекция III

#### Сцепление. Химическое сродство<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup> 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.

<sup>2</sup> 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».