

Первые сведения об электрических и магнитных явлениях были известны уже в древности. Древним ученым было известно свойство натертого янтаря притягивать легкие предметы. Само слово «электричество» происходит от греческого слова «электрон», что значит янтарь. Древние греки также знали, что существует особый минерал—железная руда (магнитный железняк), способный притягивать железные предметы. Залежи этого минерала находились возле греческого города Магнесии, названию которого и обязано происхождение слова «магнит». В древности не исследовали ни электрические, ни магнитные явления. Объясняли же их в организмическом духе. Так, например, магнит уподоблялся живому существу. Магнит имеет душу, говорили некоторые, которая и обуславливает свойство притягивать железо. Но уже тогда атомисты магнитные явления объясняли материалистически. Так, Лукреций Кар в своей поэме «О природе вещей» объяснял действие магнита существованием потоков мельчайших атомов, вытекающих из него.

Постепенное изучение магнитных явлений приобрело практическое значение. Уже в XII в. в Европе был известен компас.

В XIII в. появилось сочинение «О магнитах» француза Пьера де Марикура, известного под именем Перегрин, посвященное описанию магнитных явлений. Автор описывает изготовленный им шарообразный магнит, действие его на магнитную стрелку, способ намагничивания железа и т. д.

Развитие мореплавания делает все более и более важным изучение магнитного поля Земли, а вместе с этим и магнитных явлений вообще. Уже Колумб понял важность знания магнитного склонения (возможно, что о магнитном склонении было известно еще раньше). Начинается изучение земного магнетизма, составление карт магнитных склонений и т. д. С развитием навигационной техники возникает ряд практических задач, относящихся к магнетизму: изготовление искусственных магнитов, устранение влияния железных частей корабля на компас и т. д. Все это не могло не оказать сильного влияния на изучение магнитных явлений вообще. Существенным шагом вперед в исследовании магнетизма была книга английского ученого Вильяма Гильберта (1540—1603) «О магните, магнитных телах и великом магните Земли», вышедшая в 1600 г. В книге описаны уже известные факты, что магнитные свойства присущи только магнитной руде, железу и стали, что магнит всегда имеет два полюса и что одноименные полюса отталкиваются, а разнополюсные — притягиваются, описывается явление магнитной индукции. Гильберт высказывает также гипотезу о земном магнетизме. Он утверждает, что Земля представляет собой большой шарообразный магнит, полюса которого расположены возле географических полюсов. Гильберт описывает следующий опыт: если приближать к поверхности большого шара, изготовленного из естественного магнита, магнитную стрелку, то она всегда устанавливается в определенном направлении, подобно стрелке компаса на Земле.

В своей работе Гильберт уделил внимание и исследованию электрических явлений; он показал, что электрические явления следует отличать от магнитных. Электрические свойства в отличие от магнитных присущи многим веществам. Кроме янтаря электрические свойства проявляют алмаз, хрусталь, стекло, сера и многие



Рис. 33. Машина Герике

другие вещества. Тот факт, что Гильберт, занимаясь исследованием магнитных явлений, затронул и электрические явления, не является случайным. Электрические и магнитные явления, даже если не знать об их внутреннем единстве, схожи между собой. Их даже сначала путали между собой. И если Гильберт показал, что между электрическими и магнитными явлениями имеет место различие, то все же и он сам, и многие последующие исследователи не могли не видеть того общего, что было между ними. Такое положение привело к тому, что исследования в области магнетизма вызывали исследования электрических явлений, и наоборот. И если практика оказывала непосредственное влияние на развитие учения о магнетизме, то одновременно она не могла не влиять и на развитие учения об электричестве. После исследований Гильберта в течение более ста лет в учении об электричестве и магнетизме было получено мало новых результатов. Следует отметить только работу немецкого ученого Герике, опубликованную в 1672 г. Герике построил первую «электрическую машину», которая представляла собой большой шар, изготовленный из серы с железной осью (рис. 33). Герике, вращая шар вокруг оси, наэлектризовывал его ладонью руки. Затем этот прибор был усовершенствован — ось шара помещена в деревянный штатив. Несмотря на примитивность прибора, Герике с его помощью открыл новое явление: обнаружил, что легкие тела не только притягиваются наэлектризованным телом, но и отталкиваются.

В первой половине XVIII в. были сделаны новые шаги в изучении электрических явлений. Во-первых, англичанин Грей в 1729 г. открыл явление электропроводности. Он обнаружил, что электричество способно передаваться некоторыми телами, и все тела были разделены им на проводники и непроводники.

Французский ученый Дюфе в 1734 г. установил существование двух родов электричества.

Он писал, что открыл принцип, «проливающий новый свет на электрическую материю. Этот принцип заключается в том, что существует два рода электричества, одно из которых я называю стеклянным электричеством, другое — смоляным электричеством. Первое имеет место в стекле, горном хрустале, драгоценных камнях, волосах, шерсти и во многих других телах. Второе — в янтаре, в камеди, шелке, нити, бумаге и в большом количестве других веществ. Характерным для этих двух электричеств является способность отталкивать и притягивать одно другое. Так, если тело обладает стеклянным электричеством, оно отталкивает тела, содержащие такое же электричество, и, наоборот, притягивает все то, что имеет смоляное электричество. Соответственно смоляное электричество отталкивает смоляное и притягивает стеклянное»¹⁾.

Следующим важным шагом в изучении электрических явлений было изобретение лейденской банки, которое было сделано почти одновременно немецкими учеными Клейстом и Мушенбруком. Название связано с городом Лейденом, где Мушенбрук проделал первые опыты с лейденской банкой. Важность этого изобретения заключалась в том, что теперь физики могли получать значительные электрические заряды и экспериментировать с ними. Естественно, что это изобретение привело к усилению интереса среди ученых к изучению электрических явлений. Этому способствовала также мысль о возможности практического применения электричества. Возникшая еще раньше идея о возможности применения электричества в лечебных целях получает дальнейшее развитие. Уже Мушенбрук, описывая свое изобретение, обратил особое внимание на физиологическое действие электрического разряда. Он писал:

«Хочу сообщить... новый, но ужасный опыт, который не советую Вам повторять. Я занимался изучением электрической силы. Для этого я подвесил на двух шелковых голубых нитях железный ствол, получающий электричество от стеклянного шара, который быстро вращался вокруг оси и натирался руками. На другом конце висела медная проволока, конец которой был погружен в стеклянный круглый сосуд, наполненный наполовину водой, который я держал в правой руке; левой же рукой я пытался извлекать из электрического ствола искры. Вдруг моя правая рука была поражена ударом с такой силой, что все тело содрогнулось, как от удара молнии. Несмотря на то, что сосуд, сделанный из тонкого стекла, не разбивается и кисть руки обычно не смещается при таком потрясении, тем не менее локоть и все тело поражаются столь страшным образом, что я не могу выразить словами. Я думал, что все кончено»²⁾.

Физиологическим действием электрического разряда заинтересовались многие. Опыты с электричеством стали модными, их производили и в лабораториях ученых, и в аристократических гостиных, и даже в королевских дворцах. Известно, например, что Лю-

¹⁾ Figuiet L. Les Merveilles de la science T. I. Paris, 1866, p. 445.

²⁾ Там же, p. 461.

довик XV и его двор забавлялись, пропуская через цепь солдат разряд электричества.

У врачей и физиологов появляется мысль, что электричество играет важную роль в жизнедеятельности живого организма. Исследованием действия электричества на человеческий организм заня-

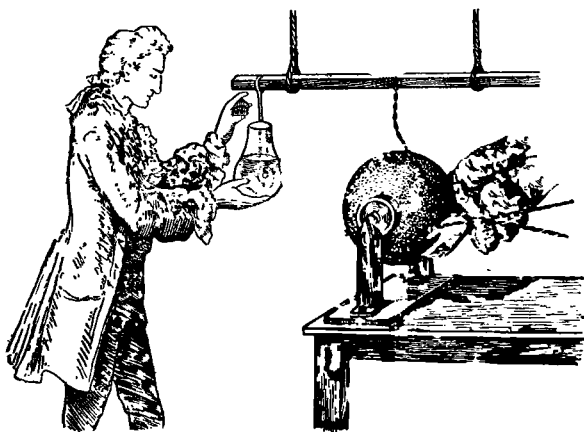


Рис. 34. Лейденский опыт

лись многие ученые. Писались трактаты об «электричестве человеческого тела», об «электрической лечебной материи» и т. п. В качестве примера можно привести сочинение знаменитого вождя французской буржуазной революции Марата, врача по образованию. В 1738 г. он написал сочинение по электротерапии («Mémoire sur l'électricité' medical») и представил его на конкурс, объявленный Руанской академией на тему «Насколько и в каких условиях можно рассчитывать на электричество как на положительное в лечении болезней». Хотя в действительности электричество в лечебных целях начали использовать гораздо позже, тем не менее поиски способов такого применения уже в XVIII в. сыграли стимулирующую роль в развитии исследований электрических явлений.

Практическое значение исследования электрических явлений приобрели также в связи с открытием электрической природы молнии. Мысль об электрической природе молнии высказывалась и до изобретения лейденской банки. Однако только после того, как стало возможным искусственно получать большие заряды, она получила достаточное основание. Известный американский ученый и общественный деятель Бенджамин Франклин (1706—1790), много занимавшийся исследованием электрических явлений, в одном из своих писем члену Королевского общества Коллинсону изложил гипотезу об электрической природе молнии и предложил экспериментальный метод проверки этой гипотезы. Чтобы установить факт электризации облаков, Франклин предлагал поставить на высокой

башне будку, из которой вывести вверх железный шест высотой 20—30 футов с заостренным концом, укрепленный на изолированной подставке. Человек, находящийся в будке, при наличии низко проходящих облаков, по мнению Франклина, мог извлекать из шеста электрические искры. В том же письме Франклин излагал идею громоотвода для предохранения зданий и кораблей от пожара во время грозы. В 1751 г. содержание этого письма стало известно в Европе. В мае 1752 г. француз Далибар проделал рекомендованный Франклином опыт и получил экспериментальное подтверждение гипотезы об электрической природе грозы. Летом того же года сам Франклин произвел известный опыт со змеем и получил аналогичные же результаты. Исследования атмосферного электричества продолжали, в частности, Рихман и Ломоносов.

С середины XVIII в. учение об электричестве и магнетизме развивается более быстрыми темпами. В это время формируются понятие электрического заряда и закон сохранения электрического заряда, а также намечаются две основные концепции в понимании электрических и магнитных явлений — концепция дальнего действия и концепция ближнего действия. Понятие электрического заряда и закон его сохранения начинают формироваться в работах Франклина. До Франклина взгляды на природу электричества были примитивными и основывались на представлении о существовании «электрических атмосфер», «вихревой электрической материи» и т. д. Франклин предполагает существование специальной электрической материи, которая состоит из мельчайших частиц, которые легко проникают в обычную материю. Между частицами электрической материи действуют силы отталкивания, а между этими частицами и частицами обычной материи — силы притяжения. Обычная материя впитывает частицы электрической материи подобно губке. Для каждого тела, считает Франклин, существует определенное количество электрической материи, вместив которое, тело полностью им наполняется и при этом оказывается электрически нейтральным. Если же сверх этого количества добавить телу еще некоторое количество электрической материи, то эта материя образует вокруг него электрическую атмосферу, тело будет наэлектризовано положительно. Если же у тела отнять некоторое количество электрической материи, то оно наэлектризуется отрицательно. Франклин, предположив, что стекло электризуется положительно, «стеклянное элек-



Бенджамин Франклин

тричество» назвал «положительным электричеством». По Франклину, при электризации никакая электрическая материя не создается, она только перераспределяется. И если одно из тех электризуется положительно, то другие тела должны электризоваться отрицательно. При этом количество положительного электричества равно образовавшемуся отрицательному электричеству. Эту гипотезу Франклин обосновывал следующим опытом. Пусть человек *A* стоит на подставке из воска, держит в руках стеклянную трубку и натирает ее. Человек *B*, также стоящий на подставке из воска, «извлекает из этой трубки огонь», т. е. снимает часть электрического заряда. Оба человека окажутся заряженными электричеством. Если эти два человека затем коснутся друг друга, то между ними проскочит искра и они потеряют свои заряды.

Идея Франклина была развита петербургским академиком Францем Эпинусом (1724—1802). Эпинус также предполагал существование электрической жидкости, между частицами которой действуют силы отталкивания, а между ними и частицами обычных тел — силы притяжения. При этом он считал, что между частицами обычной жидкости также действуют силы отталкивания. Без этой гипотезы нельзя было объяснить факт отталкивания двух тел, заряженных отрицательно. Это необходимое добавление имело искусственный характер и в дальнейшем явилось одной из причин отказа от принятия гипотезы о существовании одной «электрической материи» и перехода к теории двух «электрических материй».

Эпинус четко формулирует закон сохранения электрического заряда, ссылаясь на ряд своих опытов. Он пишет:

«...ясно, что нельзя создать один вид электричества без того, чтобы не создать другого. Иными словами, если я хочу в каком-либо теле увеличить количество электрической материи, я должен неизбежно взять ее вне его и, следовательно, уменьшить ее в каком-либо другом теле. По этой же причине я не смогу где-либо уменьшить электрическую материю без того, чтобы не передать ее в другое тело и там ее не увеличить. Таким образом, едва возникает электричество положительное, как отрицательное возникает одновременно с ним и одно не может быть получено без другого»¹⁾.

Эпинусу принадлежит открытие явления индукции, которое подтверждает закон сохранения электрического заряда. Эпинус предполагал также существование магнитной материи, частицы которой отталкиваются друг от друга и притягиваются частичками магнитных материалов. Он развивает представления об электрических взаимодействиях, уже не предполагая наличие электрической атмосферы вокруг заряженного тела. Вся электрическая материя, по Эпинусу, собирается внутри наэлектризованного тела. Взаимодействие же наэлектризованных тел объясняется силами, действующими между частицами электрической материи, обычной материи и взаимодействием частиц той и другой между собой. Точно так же представляет Эпинус магнитную силу. При этом силы взаимо-

¹⁾ Эпинус Ф. У. Т. Теория электричества и магнетизма. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1951, с. 452—453.

действия являются центральными и дальнедействующими. Они, подобно силам тяготения, действуют на расстоянии. Рассуждая о природе магнитных сил, Эпинус пишет:

«Без сомнения, многим будет противно, что и магнитные явления из притягающей и отгоняющей силы изъяснить стараюсь, потому что многие помянутые силы между сокровенными качествами полагают. Что такие силы в самой натуре есть, то ясно видно, и что всех явлений они суть главными и начальными причинами, хотя начало их нам безызвестно. Я не понимаю, в чем тот погрешает, кто явления из первоначальных сил изъясняет, хотя бы начало их было неизвестно. Правда, что неосторожные великого Невтона последователи учение его тем испортили, что притягивающую и отгоняющую силу за природное телам качество почитают и никакой внешней причины помянутых сил признавать не хотят. Но я не так думаю и охотно признаю, что видимые в натуре притягивания и отгонения зависят от какой-нибудь внешней причины, а какая бы она ни была, в том лучше признаться хочю, что мне неизвестна, нежели неосновательные положения выдумывать»¹⁾.

В своем главном сочинении «Опыт теории электричества и магнетизма», вышедшем в 1759 г., Эпинус, рассматривая вопрос о величине сил, действующих между электрическими зарядами и магнитами, высказывает предположение, что они, подобно силам тяготения, должны быть обратно пропорциональны квадрату расстояния. Он пишет, что еще не решается определить функциональную зависимость этих сил от расстояния, но что «если бы понадобилось произвести выбор между различными функциями, то я охотно утверждал бы, что эти величины изменяются обратно пропорционально квадратам расстояний»²⁾. Теория Эпинуса явилась началом развития одного из основных направлений физики электрических и магнитных явлений, основанного на принципе дальнего действия. Если у Франклина еще нет определенного представления о природе электрических сил, то Эпинус совершенно определенно высказывается за принцип дальнего действия для электрических и магнитных взаимодействий.

Почти одновременно с теорией дальнего действия возникает представление о теории близкого действия, в соответствии с которой электрические и магнитные взаимодействия передаются через эфир. Этого взгляда придерживались М. В. Ломоносов и Л. Эйлер, которые строили свои теории, опираясь на представление об эфире. Эйлер построил даже две такие теории³⁾. Несмотря на то что эти теории содержали ряд идей, которые затем легли в основу теории Фарадея и Максвелла, они не могли в то время конкурировать с теорией, основанной на принципе дальнего действия. Последняя хорошо и просто объясняла явления электростатики и магнитостатики. Она могла служить основой для построения математической теории электрических и магнитных явлений. Теория же близкого действия, развиваемая Ломоносовым и Эйлером, была чисто качест-

¹⁾ Эпинус Ф. У. Т. Теория электричества и магнетизма, с. 414.

²⁾ Там же, с. 50—51.

³⁾ См. подробнее: Минченко Л. С. Леонард Эйлер как физик.— В кн.: Развитие физики в России. Т. I. М., «Просвещение», 1970, с. 33.

венной теорией. Помимо этого, теория близкодействия противостояла общему стремлению физиков по возможности не измышлять гипотезы; как и теория теплорода, теория дальнего действия в учении об электричестве и магнетизме хорошо укладывалась в общую схему ньютоновской физики XVIII в.

Для развития теории поля необходимы были исследование по электродинамике, исследование превращения «электричества в магнетизм», исследование процессов превращения энергии и т. д. Все это было не под силу XVIII столетию. Для развития теории электромагнитного поля еще не настало время. Должно было пройти еще много лет, прежде чем созрели условия для ее развития.

Новый этап в истории учения об электричестве и магнетизме начинается с установления основного закона электростатики и магнитостатики — закона Кулона, открытого в 80-х годах французским физиком Кулоном. Гипотеза о том, что сила взаимодействия между магнитами и электрическими зарядами обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними, была высказана уже Эпинусом. Еще раньше (в 1750 г.) гипотезу о силах, действующих между магнитами, высказал Майчелл. Д. Бернулли в 1760 г. пришел к аналогичным выводам. В 1767 г. английский ученый и философ Джозеф Пристли (1733—1804) в своей «Истории электричества» также утверждал, что из известных экспериментальных фактов следует, что сила взаимодействия между электрическими зарядами должна быть обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. У Кулона были и другие предшественники. Говоря об истории открытия закона Кулона, интересно отметить, что его предшественники нередко предполагали существование аналогии между силами электрического или магнитного происхождения и силами тяготения. На подобную аналогию опирался Пристли. Он знал о факте, установленном Франклином, который заключался в том, что внутри заряженного металлического сосуда электрическое поле равно нулю. Но было также известно, что сила тяготения, действующая на массу, которая помещена внутри полого шара, также равна нулю. Отсюда по аналогии можно было заключить, что сила взаимодействия между электрическими зарядами зависит от расстояния так же, как и силы тяготения. Пристли писал:

«Не следует ли из этого эксперимента, что сила притяжения электричества подчиняется тому же самому закону, что и тяготение, т. е. закону квадратов расстояния; так как показано, что если бы Земля имела форму скорлупы, то помещенное внутри ее тело не испытывало бы большего притяжения с одной стороны, нежели чем с другой»¹⁾.

В 70-х годах англичанин Генри Кавендиш (1731—1810), опираясь на подобную идею, провел эксперимент, имевший целью установить закон взаимодействия между электрическими зарядами. В полый металлический шар, состоявший из двух половинок (рис. 35), он поместил другой шар, меньшего диаметра, покрытый фольгой,

¹⁾ *Pristley J. The History and Present state of Electricity with Original Experiments. London, 1767, p. 732.*

который был изолирован от внешнего шара. В маленькое отверстие, сделанное во внешнем шаре, он вставил проволоку, которая соединяла внутренний шар и металлические полушария, после чего зарядил электричеством полушария и убрал их. Затем он исследовал, какой электрический заряд остался на внутреннем шаре. Этот заряд оказался равным нулю. Из этого опыта Кавендиш заключил, что «электрическое притяжение и отталкивание должны быть обратно пропорциональны квадрату расстояния»¹⁾. Этот вывод следовал из теоретических расчетов. Если полагать, что электрические силы обратно пропорциональны некоторой степени расстояния, то весь заряд собирается на поверхности проводника только в том случае, когда эта степень равна двум. Установив правильный закон взаимодействия между электрическими зарядами, Кавендиш, однако, не опубликовал свои работы. Результаты его исследований стали известны гораздо позже.

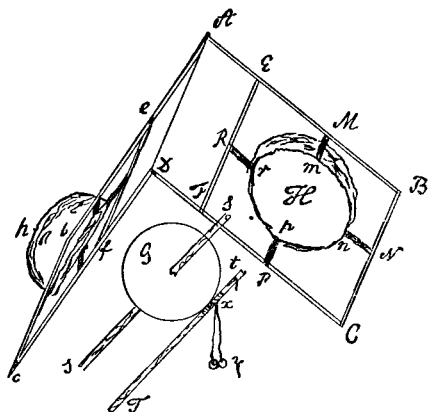


Рис. 35. Прибор Кавендиша

В 80-х годах Шарль Кулон (1736—1806) непосредственно измерил силы, действующие между электрическими зарядами (свои исследования Кулон опубликовал в ряде статей в период с 1785 по 1788 г.). Для определения силы взаимодействия между электрическими зарядами Кулон сконструировал специальный прибор — крутильные весы. При этом он использовал открытый им ранее закон пропорциональности между углом закручивания упругой нити и моментом силы. Устройство крутильных весов Кулона ясно из рисунка, взятого из его сочинения (рис. 36). Кулон брал палочку, подвешенную на тонкой проволоке; на одном ее конце находился маленький бузиновый шарик, а на другом — уравнивающий грузик. В случае отсутствия электрического заряда этот шарик при незакрученной нити касался шарика, находящегося на стержне, который был пропущен через крышку большого стеклянного сосуда. После того как оба



Шарль Кулон

¹⁾ Cavendish H. The Electrical researches. Cambridge, 1879, p. 110.

шарика заряжались, они расходились. Измеряя угол закрученности проволоки по указателю на головке прибора и расстояние между шариками по шкале стеклянного сосуда, Кулон определял величину силы отталкивания между последними при различном их положении. На основании измерений Кулон установил:

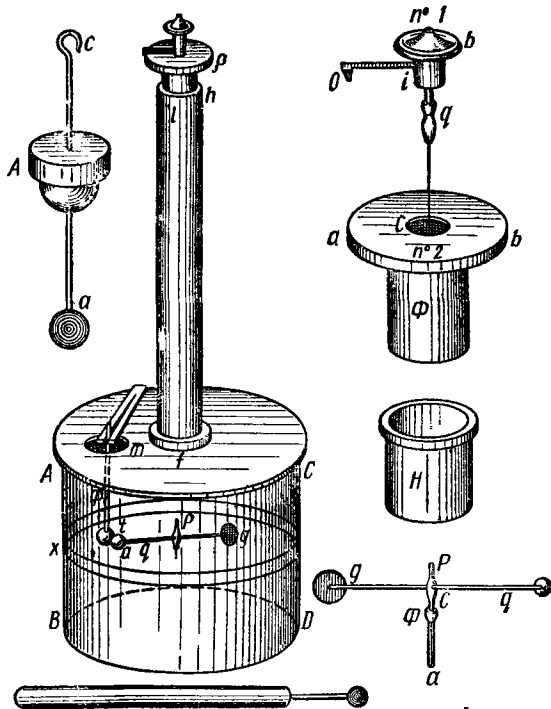


Рис. 36. Крутильные веса Кулона

молекул, прямо пропорционально плотности электрических молекул и обратно пропорционально квадрату расстояния между ними»²⁾.

Кулон исследовал взаимодействие между магнитами и подтвердил закон о том, что сила взаимодействия между полюсами магнитов обратно пропорциональна расстоянию между ними. Он нашел, что «сила притяжения и отталкивания магнитных жидкостей прямо пропорциональна плотности и обратно пропорциональна квадрату расстояний между магнитными молекулами»³⁾. В отличие

«сила отталкивания двух маленьких наэлектризованных однородным электричеством шариков обратно пропорциональна квадрату расстояний между их центрами»¹⁾.

Затем Кулон определил, как зависит сила притяжения между разноименными зарядами от расстояния, а также от величины зарядов. При этом он использовал метод деления заряда, полагая, что заряд одного шарика, будучи распределен на два одинаковых шарика, разделится между ними поровну. Кулон сформулировал закон взаимодействия между электрическими зарядами в более полном виде:

«Отталкивательное, так же как и притягательное действие двух наэлектризованных шаров, а следовательно, и двух электрических

¹⁾ Coulomb. Vier abhandlungen über die Electricität und den Magnetismus, Ostwald's Klassiker, Leipzig, 1890, s. 7.

²⁾ Там же, s. 41.

³⁾ Там же, s. 42.

от Эпинуса Кулон придерживался теории двух электрических материй, появившейся почти одновременно с теорией одной электрической материи. Он писал:

«Какова бы ни была природа электричества, мы можем объяснить явления, предположив, что существуют два электрических флюида, так что частица одного и того же флюида отталкивается обратно пропорционально квадрату расстояния и притягивает частицу другого флюида соответственно тому же самому закону обратных квадратов»¹⁾.

Эти электрические флюиды, предполагал Кулон, находятся во всех телах в равных количествах. При электризации телу сообщается дополнительное количество электричества того или иного знака и оно электризуется. В одних телах (проводниках) электричество свободно может перемещаться. В других (непроводниках) оно практически не перемещается. В результате заряженное тело (проводник) сохраняет свой заряд, будучи окруженным непроводником (например, металлический предмет, окруженный воздухом, на изолированной подставке). Кулон исследовал вопрос о распределении зарядов по проводнику. Он показал, что весь заряд распределяется на поверхности. Это следовало из теоретических соображений, а также было подтверждено экспериментами. В частности, Кулон провел экспериментальные исследования, аналогичные исследованию Кавендиша. Рассматривая распределение электрического заряда по поверхности проводника, он на опыте показал, что «электрическая сила» (т. е. напряженность электрического поля) в каждой точке проводника пропорциональна плотности электрического заряда в этой точке.

Кулон считал, что существуют также два магнитных флюида, наделенных (как и электрические флюиды) силами притяжения и силами отталкивания. Но в отличие от электрических флюидов магнитные флюиды заключены внутри молекул магнитных веществ, причем в одинаковых количествах. Они могут смещаться внутри этих молекул и образовывать элементарные магнитики, в результате чего вещество обнаруживает магнитные свойства.

В дальнейшем учение об электричестве и магнетизме развивается по двум основным направлениям. Разрабатывается математическая теория равновесия электрических зарядов и магнитов и изучаются свойства электрического тока (после открытия так называемого гальванизма).

Прежде чем продолжить рассмотрение развития теории равновесия электрических зарядов и магнитов (т. е. электростатики и магнитостатики), остановимся кратко на развитии в XVIII в. экспериментальной техники для последований электрических явлений. Уже в середине XVIII в. появились электростатические машины — усовершенствованные варианты примитивной «машины» Герике (рис. 37). Затем шар был заменен диском, который натирался

¹⁾ Whittaker E. A history of the theories of aether and electricity. The classical theories. London — Edinburgh, 1951, p. 58.

специальными подушечками. Электростатические машины стали снабжать кондукторами и т. д. (рис. 38). Была усовершенствована лейденская банка. В конце XVIII в. Вольта изобрел электрофор. Появился первый прибор для электрических измерений — электрометр. Уже в 1745 г. Рихман использовал простейший электрометр —

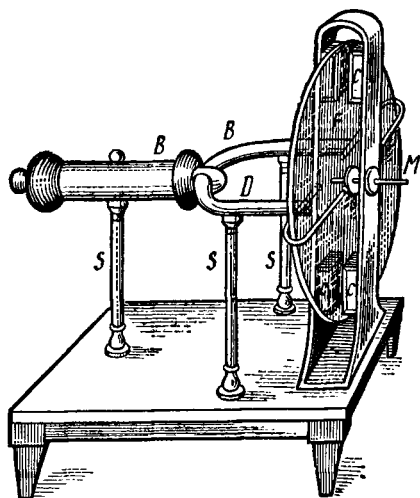
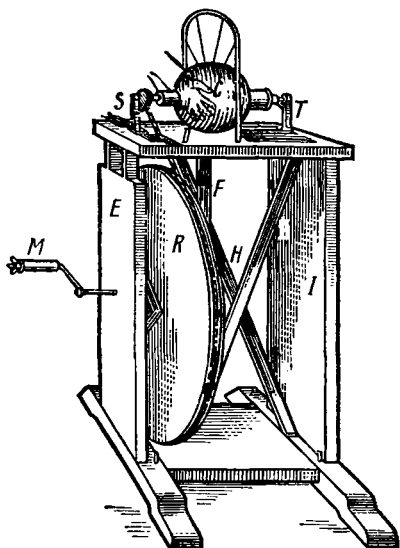


Рис. 37. Электрическая машина начала XVIII в.

Рис. 38. Электрическая машина второй половины XVIII в.

«электрический указатель». Прибор Рихмана состоял из металлического прута, к верхнему концу которого подвешивалась льняная нить. Отклонение нити фиксировалось с помощью шкалы, прикрепленной к стержню (рис. 39). Были предложены различные конструкции электрометров и электрометров, позволяющих производить

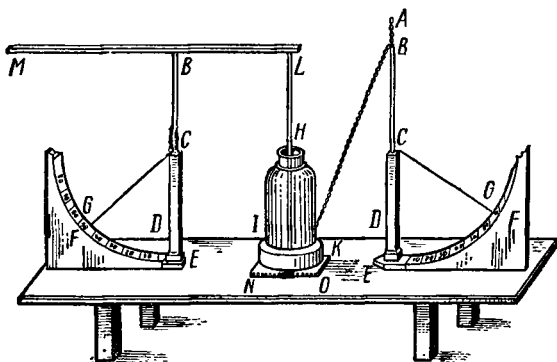


Рис. 39. «Электрический указатель» Рихмана

количественные измерения. В этих приборах «электрическая сила» оценивалась по величине расхождения легких предметов, например бузиновых или пробковых шариков, подвешенных на тонких нитях. Постепенно эти приборы совершенствовались: шарики или другие легкие тела стали помещать в стеклянный сосуд. В 1787 г. Бэннет использовал вместо шариков два тонких золотых листка, помещенных внутри специального сосуда. Будучи снабженными шкалой, такие электроскопы могли уже употребляться как электрометры. Однако следует отметить, что вопрос о том, что измеряет электрометр, был решен гораздо позже.

Продолжим рассмотрение развития электростатики и магнито-статики. Важный шаг был сделан французским математиком и физиком Семеоном Дени Пуассоном (1781—1840) в начале XIX в. Пуассон также исходил из представления о существовании двух электрических флюидов, частицы которых взаимодействуют друг с другом, причем силы притяжения и отталкивания обратно пропорциональны расстоянию между ними. Он полагал, что в обычном состоянии в теле равномерно распределено одинаковое количество этих флюидов, поэтому оно не обнаруживает электрических свойств. Если же тело получает дополнительное количество какого-либо из двух электричеств или их равномерное распределение нарушается, то оно электризуется. Тела разделяются на два вида — проводники и изоляторы. В проводниках электрические жидкости могут свободно перемещаться, в изоляторах же они неподвижны. Изоляторы (например, воздух), окружающие проводник, не позволяют электрическому флюиду выходить за его пределы. Принцип, на который затем опирался Пуассон, заключался в том, что в случае равновесия электрической жидкости в проводнике она должна располагаться так, чтобы результирующая всех электрических сил внутри проводника была равна нулю и имела значение, отличное от нуля, лишь на поверхности, где она удерживается сопротивлением окружающего изолятора. Использование его дает возможность определять поверхностную плотность электрического заряда во всех точках поверхности проводника, если известна его форма. Знание же распределения заряда на поверхности проводника позволяет решить вопрос об «электрической силе» во всем пространстве вокруг проводника. В частности, на поверхности проводника эта сила должна быть направлена нормально к поверхности и ее величина пропорциональна плотности заряда в данной точке. Опираясь на эти положения, Пуассон решил задачи о распределении заряда на поверхности проводящего эллипсоида, а также двух заряженных проводящих сфер. При этом он использовал результаты теории гравитации, где уже употреблялась функция, являющаяся потенциалом, и было установлено, что она удовлетворяет уравнению Лапласа. Пуассон заключает, что эта функция может иметь «применение и в теории электричества»¹⁾.

¹⁾ Сам Пуассон вывел уравнение для этой функции, определяющее ее в точках, где существуют массы, распределенные по объему. Это уравнение, известное под названием уравнения Пуассона, применяется и в электростатике.

В 20-х годах Пуассон обратился к теории магнетизма. Здесь он также следовал представлениям Кулона о существовании двух «магнитных материй», которые заключены в равных количествах в молекулах магнитных материалов. В случае действия магнитных сил эти материи смещаются друг относительно друга и молекулы становятся, говоря современным языком, магнитными диполями. Развивая теорию магнетизма, Пуассон вводит понятие магнитного момента единицы объема, использует понятие потенциала и определяет его величину вне магнита по формуле, которая в современных обозначениях имеет вид

$$\varphi = \iiint_S \frac{1}{r} I_n ds - \iiint_V \frac{1}{r} \operatorname{div} I dv.$$

Здесь φ — потенциал магнитного поля, I — магнитный момент единицы объема магнита, а интегралы берутся по поверхности и объему магнита.

Дальнейшее развитие электростатики и магнитостатики связано с именем английского математика Георга Грина (1793—1841). Свои исследования в этой области он опубликовал в 1828 г. в работе «Исследование математической теории электричества и магнетизма». Грин указывает, что, несмотря на успехи в развитии общей аналитической теории электричества и магнетизма, общий метод решения задач еще не выработан и что он ставит перед собой такую задачу. Он пишет:

«Предметом этого исследования является попытка подвергнуть математическому анализу явление равновесия электрических и магнитных флюидов и положить некоторые общие принципы, одинаково пригодные как для совершенных, так и для несовершенных проводников»¹⁾.

В основу аналитической теории электричества Грин положил принцип, согласно которому электрические силы можно определить через некоторую функцию координат, так что слагающие этих сил по координатным осям равны частным производным от этих функций по соответствующим переменным, взятым с обратным знаком. Эта функция играет в теории Грина первостепенное значение. Он называет ее потенциальной функцией. Потенциальная функция определяется распределением зарядов. Ее значение в какой-либо точке равно сумме (или интегралу) всех элементарных зарядов, деленных на расстояние их до этой точки. Зная же значение потенциальной функции, можно простым дифференцированием найти значение электрических сил во всем пространстве.

Более трудной является задача, когда, говоря современным языком, заданы форма и расположение проводников в пространстве, их общие заряды и требуется определить распределение зарядов на этих проводниках. Эту задачу исследует Грин и разрабатывает для ее решения аналитический аппарат. Потенциальная функция удовлетворяет уравнению Лапласа, решение которого при дан-

¹⁾ Green G. Mathematical papers. London, 1871, p. 9.

ных граничных или краевых условиях и позволяет определить потенциальную функцию как функцию координат, а затем и значение «электрической силы». Кроме того, знание потенциальной функции дает возможность найти плотность зарядов на поверхности проводников. Разрабатывая математический аппарат решения указанной выше задачи, Грин получил ряд новых математических результатов, в том числе и так называемую формулу Грина.

В развитии аналитической теории электростатики и магнитостатики важную роль сыграли также работы Гаусса (1777—1855). В 1839 г. было опубликовано его сочинение «Общая теория сил притяжения и отталкивания, действующих обратно пропорционально квадрату расстояния», в котором разработана общая теория потенциала. Гаусс рассматривал функцию $V = \Sigma \left(\frac{m}{r} \right)$, где под m можно понимать обычные массы, электрические заряды и «магнитные заряды». Эту функцию Гаусс называл потенциалом, рассмотрел ее свойства и доказал ряд важных положений и теорем теории потенциала. Гаусс доказал и известную теорему, связывающую величину потока напряженности поля сил тяготения или электрического поля через поверхность с общей массой или зарядом, находящимся внутри этой поверхности. Эту теорему в настоящее время иногда называют теоремой Гаусса — Остроградского, так как еще в 1828 г. русский ученый Остроградский доказал теорему о преобразовании интегралов. Теорема же о потоке, применяемая в электростатике, является следствием теоремы Остроградского.

Выводы Гаусса нередко повторяли выводы Грина. Однако они были получены Гауссом самостоятельно, так как написанные более чем на десять лет раньше работы Грина не были известны в Германии, тем более что на его сочинения не обратили внимания и на родине. Только в 1850 г. они стали широко известны (после того как В. Томсон, узнав о работах Гаусса и желая сохранить приоритет за своей родиной, переиздал эти сочинения).