

Тяготение определялось массой тела. Если тело состоит из частиц, то масса определяется полным числом этих частиц. А заряд? По-видимому, заряжая тело, мы привносим какие-то частицы электричества — их число определяет величину заряда тела. Есть два типа электрически заряженных тел: положительно и отрицательно заряженные. По-видимому, должны быть частицы положительного и отрицательного электричества, и если их в теле поровну — тело не заряжено. Если частиц одного типа больше, а других — меньше, тело обладает электрическим зарядом. Каких частиц больше, таков и знак заряда тела. Естественно предположить, что частицы неуничтожимы — они переходят от одного тела к другому: от меха к эбонитовой палочке, от беличьей шкурки — к стеклянному шарик. Заряженное тело теряет свой заряд со временем — оно разряжается. Избыточные частицы электричества стекают с него, или на него натекают частицы, компенсирующие избыточный заряд, происходит электрическое зарядение или же электрический разряд — проходит электрический ток. Электрический разряд в атмосфере — явление бурное. Сверкает молния, грохочет гром. А вызывает это яркое и шумное событие «темный лидер» — невидимый поток электрических частиц, прокладывающих себе извилистый путь от заряженной тучи к поверхности Земли. Так сворачивает камни ручей с прозрачной водой. Интуитивное представление об электрических частицах позволяло исследователям электричества выявить двоякую роль электрического заряда. Электрический заряд — мера электрического воздействия. Электрический заряд — мера количества электричества. Оба свойства оказываются связанными. Мы скоро это увидим.

Электрический ток и магнитные явления

Электрический разряд — в буквальном смысле слова яркий пример стекания заряда, пример электрического тока. Но в нашей обыденной жизни мы встречаем бурное грозное электричество значительно реже тихого невидимого электричества в проводах, приносящего нам свет электрических лампочек, голоса друзей в телефоне, мировые события в телевизоре. Электрический ток в проводах более близок нам, именно он скорее всего приходит на ум, когда

речь заходит об электрическом токе. Но в физику мирный ток проводов пришел значительно позже тока электрического разряда. Первые опыты по изучению тока проводились с разрядами. Изучая разряды молнии или лейденской банки — прообраза современного конденсатора, Франклин и Беккариа наблюдали магнитное действие электрического тока. Это вновь возродило старый вопрос о связи электрических и магнитных явлений.

Вопрос об этой связи уходит в глубокую древность. Для древних вопроса, в сущности, не было. Они считали очевидным, что притяжение намагниченных кусков железа и притяжение наэлектризованных кусков янтаря — явления одной природы. О полном тождестве речь, видимо, не шла, но симметрия электричества и магнетизма сомнения не вызывала. Поэтому первым исследователям электрических явлений, например, Гильберту, приходилось специально подчеркивать отличие электричества от магнетизма. Предрассудком называл Гильберт представление о симметрии электрических и магнитных свойств. К этому времени (к середине XVII в.) симметрии действительно не было. Природа молний была неизвестна. Электричество казалось забавной безделицей. Иное дело магнетизм. Еще в незапамятные времена неизвестным восточным умельцем, подобным неизвестному изобретателю колеса, было найдено применение отклонению магнита под действием земного магнетизма — был изобретен компас. По существу, было открыто магнитное поле Земли. Всепроникающая магнитная сила, заставляющая стрелку держаться строго определенного направления, завораживает каждого при первом знакомстве с компасом.

«То, что эта стрелка вела себя так определенно, никак не подходило к тому роду явлений, которые могли найти себе место в моем неосознанном мире понятий (действие через прикосновение). Я помню еще и сейчас — или мне кажется, что я помню, — что этот случай произвел на меня глубокое и длительное впечатление. За вещами должно быть что-то еще, глубоко скрытое», — писал А. Эйнштейн в своих «Автобиографических заметках» о том ощущении чуда, которое он испытал ребенком 4—5 лет, когда отец показал ему компас.

Итак, симметрии не было — с одной стороны, многовековой опыт практических приложений магнетизма, с другой — забавное свойство янтаря. Но прошел век, и в 1758 г. в «Письмах к Беккари» Беккариа описывает результаты своих повторений опытов Франклина по исследованию электрических разрядов и задается вопросом: «не обуславливает ли электрический флюид неким универсальным неощутимым непрерывным периодически циркулирующим движением... во всех случаях возникновение и поддержание магнитных свойств». Вопрос вызвал восхищение английского естествоиспытателя Пристли: «Это действительно гениальная мысль, и если она верна, она в высшей степени упростит наши представления о законах природы». Связь электричества и магнетизма восстанавливалась. Казалось, восстанавливалась и симметрия электрических и магнитных свойств.

У магнита два полюса — северный и южный. И электрических зарядов два типа — положительные и отрицательные. Одноименные электрические заряды отталкиваются, а разноименные — притягиваются. И у двух магнитов — одноименные полюса отталкиваются и разноименные притягиваются. Экспериментальные методы, развитые Кулоном, позволили ему измерить силу взаимодействия двух магнитов. Разноименные полюса магнитов притягиваются, а одноименные отталкиваются по такому же закону, что и электрические заряды — обратно пропорционально квадрату расстояния. Как и в случае силы электрического взаимодействия двух зарядов, Кулон постулировал, что магнитная сила пропорциональна произведению магнитных зарядов полюсов. Между электрическим зарядом и «магнитным зарядом» полюса магнита имелись одно отличие. При электризации тела мы получаем изолированный электрический заряд определенного знака. Намагничивая тело, мы получаем сразу два полюса магнита. В результате намагничивания нельзя получить изолированный магнитный полюс. Намагниченное тело не может обладать изолированным магнитным зарядом определенного знака. Но различия не смущали. Слишком сильна была традиция механики Ньютона. Казалось естественным, что между двумя малыми телами все силы, независимо от их природы, действуют единообразно — по прямой, соединяющей тела. И с расстоянием все силы убыв-

бывают одинаково — обратно пропорционально квадрату расстояния между телами. Привлекало изящное единое описание всех дальних действий — гравитационного, электрического, магнитного. Тогда различие сил проявлялось бы только в разных мерах их воздействия: гравитационная сила пропорциональна произведению

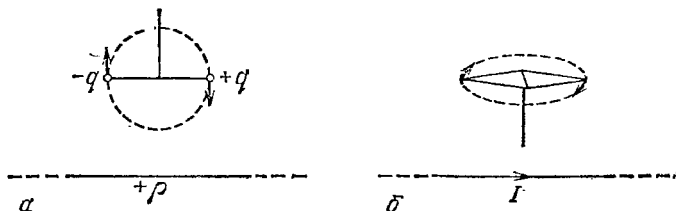


Рис. 1. Магнитная игла (магнитный диполь) и электрический диполь поворачиваются по-разному. Электрический диполь (а) поворачивается в плоскости однородно заряженной проволоки. Магнитная игла (б) поворачивается перпендикулярно плоскости провода с током

масс тел, электрическая — электрических зарядов, магнитная — магнитных зарядов.

В начале XIX в. благодаря изобретению А. Вольта электрической батареи стало возможным изучать действие постоянного тока. Вместо кратковременных токов электрического разряда в лабораториях появился непрерывный электрический ток в проводах, соединяющих полюса батареи. Целых двадцать лет, имея в своем распоряжении непрерывный ток, физики искали магнитную силу тока. Силу, действующую в плоскости магнита и тока. И не нашли. А в 1820 г. появилась статья датского физика Х. К. Эрстеда. Всего четыре страницы латинского текста. Эрстед наблюдал отклонение магнитной иглы под действием постоянного тока прямого провода. Ведь магнитная стрелка ориентируется по земному меридиану, указывая одним концом на северный полюс Земли, а другим — на южный. Так вот, ток, параллельный меридиану, отклонял стрелку компаса от направления меридиана. Сила действовала не вдоль прямой, соединяющей провод и магнит, а поперек. Магнитная сила тока была найдена. Она оказалась не отталкивающей, а «поворачивающей».

Электрическая сила, действующая на электрический диполь (гантельку с равными по величине и про-

тивоположными по знаку электрическими зарядами на концах), — тоже поворачивающая. Но магнитная сила тока, действовавшая на магнит, поворачивала его не так, как поворачивала бы электрический диполь электрическая сила однородно заряженной проволоки (рис. 1). Магнитная сила тока поворачивала магнит «поперек».

Ньютоновское описание действия на расстоянии дало первую трещину. Нарушалось единообразие такого описания. Пройдет еще немного времени, и сама идея действия на расстоянии будет отвергнута в работах Фарадея и Максвелла. Потребуется еще сто лет, чтобы и идея о гравитационном действии на расстоянии перестала быть верной.

Напряженность и потенциал

Закон Кулона определил силу взаимодействия зарядов. Но *как* они осуществляют свое взаимодействие? Можно было бы просто сказать, что два заряда действуют друг на друга на расстоянии по закону Кулона и не вдаваться в размышления о том, какие невидимые нити соединяют заряды, какие невидимые пружины притягивают разноименные заряды и расталкивают одноименные. Так поступил в свое время Ньютон, изучая тяготение: «Причину этих свойств силы тяготения я до сих пор не мог вывести из явлений, гипотез же я не измышляю... Довольно того, что тяготение на самом деле существует и действует согласно изложенным нами законам и вполне достаточно для объяснения всех движений небесных тел и моря».

Но (даже не задаваясь вопросом о природе электрических сил) чтобы упростить расчет силы взаимодействия неточечных заряженных тел, оказалось удобным, чисто формально, ввести некоторую характеристику окружающего заряд пространства — *напряженность* E — силу, с которой рассматриваемый заряд подействовал бы на малый заряд, помещенный в данную точку, и отнесенную к величине этого малого заряда. Если же мы поместим в эту точку заряд q , то на него подействует сила $F = qE$. Обратите внимание на то, что буквы F и E в этой формуле написаны более жирно, чем другие буквы. Это означает, что, так же как и сила, напряженность электрического поля — век-