

ЭЛЕКТРОСТАТИКА

1.1. Электрический заряд

Первым исследователям электричество казалось удивительным явлением. Чтобы получать из тел «неуловимый огонь», как его иногда называли, приводить их в состояние интенсивной электризации, создавать постоянное течение тока, требовалась большая изобретательность. Казалось, что обычные явления природы, за исключением молнии, например, замерзание воды, рост дерева, не имеют отношения к странному поведению наэлектризованных предметов.

Теперь мы знаем, что физические и химические свойства вещества — от атома до живой клетки — в значительной степени объясняются электрическими силами. Этим знанием мы обязаны Амперу, Фарадею, Максвеллу и многим другим ученым девятнадцатого столетия, открывшим природу электромагнетизма, а также физикам и химикам двадцатого столетия, разгадавшим атомное строение вещества.

Классическая теория электромагнетизма имеет дело с электрическими зарядами, токами и их взаимодействиями в предположении, что все эти величины можно измерить независимо друг от друга, с неограниченной точностью. Здесь термин «классическая» означает просто «не квантовая». Квантовые законы с их постоянной \hbar игнорируются в классической теории электромагнетизма, так же как в обычной механике. Действительно, классическая теория была почти закончена до открытия Планка. Она не потеряла своего значения и до сих пор. Ни переворот в наших представлениях, произведенный квантовой физикой, ни развитие специальной теории относительности не затмили света уравнений электромагнитного поля, написанных Максвеллом сто лет назад.

Конечно, классическая теория была основательно подкреплена экспериментом и поэтому ее можно было применять без малейшего опасения к таким объектам, как катушки, конденсаторы, переменные токи и, в конце концов, радио- и световые волны. Но даже столь

большой успех не гарантирует ее справедливости в других областях, например, внутри молекулы. Сохранившееся в современной физике значение классической теории электромагнетизма объясняется двумя фактами. Во-первых, специальная теория относительности не требует пересмотра классического электромагнетизма. Исторически специальная теория относительности выросла из классической электромагнитной теории и связанных с ней экспериментов. Действительно, максвелловские уравнения поля, созданные задолго до работ Лоренца и Эйнштейна, полностью совместимы с теорией относительности. Во-вторых, оказалось, что квантовый характер электромагнитных сил не сказывается даже при расстояниях, меньших 10^{-10} см, что в сто раз меньше размеров атома. Отталкивание и притяжение частиц в атоме и листочков электроскопа описываются одними и теми же законами, несмотря на то, что поведение атомных частиц под действием электрических сил может предсказать только квантовая механика. Для меньших расстояний имеет место довольно успешное слияние электромагнитной и квантовой теорий, называемое квантовой электродинамикой, которая, по-видимому, согласуется с экспериментом вплоть до самых малых расстояний, исследованных к настоящему времени.

Мы предполагаем, что читатель знаком с элементарными понятиями теории электричества, и не собираемся приводить все эксперименты, которые доказывают существование электрического заряда, или все доказательства электрического строения вещества. С другой стороны, мы хотим тщательно рассмотреть экспериментальные основы главных законов, от которых зависит все остальное. В этой главе мы будем заниматься изучением физики неподвижных электрических зарядов — *электростатикой*.

Фундаментальным свойством электрического заряда является, конечно, его существование в двух видах, которые уже давно названы положительным и отрицательным зарядами. Установлено, что все заряженные частицы можно разделить на два класса, причем все члены одного класса отталкивают друг друга, притягивая в то же время члены другого класса. Если два небольших заряженных тела A и B , расположенных на некотором расстоянии друг от друга, отталкиваются и если A притягивает некоторое третье наэлектризованное тело C , то мы всегда обнаружим, что B тоже будет притягивать C . Причина существования этого универсального свойства в точности неизвестна. Но современные физики склонны рассматривать положительный и отрицательный заряды в основном как противоположные проявления одного качества, так же как понятия «правое» и «левое» являются противоположными проявлениями свойства симметрии. Действительно, вопрос симметрии, включающий понятия правого и левого, представляется тесно связанным с этой двойственностью электрического заряда, а также с другой фундаментальной симметрией, а именно с двумя направлениями времени. Физика элементарных частиц проливает некоторый свет на эти вопросы.

Тот заряд, который мы называем отрицательным, можно было бы с тем же успехом назвать положительным и наоборот. Выбор названия был исторической случайностью. Наша Вселенная представляет собой хорошо уравновешенную смесь положительных и отрицательных электрических зарядов, что не удивительно, поскольку одинаковые заряды отталкиваются.

Для понимания электрического строения вещества существенны два известные свойства электрического заряда: заряд сохраняется и заряд квантуется. Эти свойства относятся к количеству заряда и, следовательно, означают возможность его измерения. В этой главе мы точно определим, как можно измерить заряд, пользуясь понятием силы, действующей между зарядами, помещенными на определенном расстоянии друг от друга и т. д. Но пока будем считать это известным и рассмотрим вышеупомянутые фундаментальные факты.

1.2. Сохранение заряда

Полный заряд изолированной системы представляет собой величину, которая никогда не изменяется. Под изолированной мы понимаем такую систему, через границы которой не может проникнуть никакое другое вещество. Свет может входить и выходить из системы, не нарушая этого принципа, так как фотоны не несут зарядов. Например, в тонкостенном ящике, помещенном в вакууме и подвергающемся действию гамма-лучей, можно наблюдать создание пары — отрицательного и положительного электронов, при котором фотон с высокой энергией прекращает свое существование (рис. 1.1). Произошло создание двух новых электрически заряженных частиц, но изменение полного заряда внутри и снаружи ящика равно нулю. Закон сохранения заряда был бы нарушен в случае создания положительно заряженной частицы без одновременного создания отрицательно заряженной. Такое явление никогда не наблюдалось.

Конечно, если бы электрические заряды электрона и позитрона не были в точности равны по величине, то создание пары нарушило бы строгий закон сохранения заряда. Но опыт показывает, что их заряды равны. Интересную экспериментальную проверку этого равенства дает атомная система, называемая позитронием. Она состоит из электрона и позитрона. Этот любопытный «атом» может существовать достаточно долго, чтобы его можно было подробно изучить — примерно около одной десятой доли микросекунды. Он ведет себя так, как будто он электрически совершенно нейтрален. Большинство

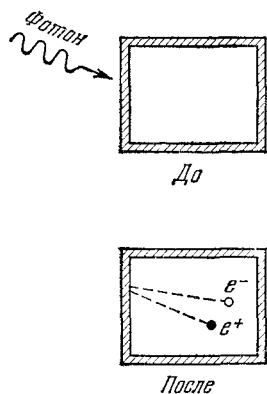


Рис. 1.1. Заряженные частицы рождаются парами с равными и разноименными зарядами.