

из них следствий. Эти уравнения составляют стержень всей электродинамики. Они могут рассматриваться как *основные аксиомы электродинамики*, играющие в ней такую же роль, какую законы Ньютона играют в классической механике. Поэтому изложение электродинамики можно было бы строить *чисто дедуктивно* на основе постулативно установленных уравнений Максвелла. Однако для первоначального изучения такой путь нецелесообразен. Мы глубже проникаем в сущность электродинамики Максвелла, если изберем *индуктивный метод изложения*. Мы начнем с простейших опытных фактов и явлений, которые правильно описываются не только на языке теории поля, но и на языке теории непосредственного действия на расстоянии. Постепенным обобщением законов этих явлений мы придем к таким результатам, которые уже не укладываются в рамки теории действия на расстоянии, а могут быть истолкованы только с помощью теории поля. В конце концов мы придем к системе уравнений Максвелла, после чего все последующее изложение будет строиться на их основе.

## § 2. Электрический заряд и напряженность электрического поля

1. Важнейшими понятиями в учении об электричестве являются *электрический заряд* и *напряженность электрического поля*. Качественное представление об этих понятиях дают простейшие опыты по электричеству, известные из элементарного курса физики. Здесь мы остановимся только на *количественной* стороне вопроса. Точное количественное определение заряда и напряженности электрического поля, как и всяких других физических величин, сводится к указанию *принципиального способа их измерения*.

2. Будем предполагать сначала, что электрическое поле не изменяется во времени. Такое поле называется *электростатическим*. Оно может быть возбуждено неподвижными электрическими зарядами. Малое электрически заряженное тельце, настолько малое, что оно практически не вызывает (вследствие индукции) перераспределения электрических зарядов на окружающих телах, может служить *пробным телом* или *пробным зарядом*. Возьмем два пробных заряда и будем последовательно помещать их в одну и ту же точку пространства, и притом так, чтобы оба заряда покоились в соответствующей системе отсчета. Так как поле не меняется во времени, то эти заряды будут подвергаться действию одного и того же поля. Пусть  $F_1$  и  $F_2$  — силы, действующие на эти неподвижные заряды. Обобщением опытных фактов является следующий результат. Силы  $F_1$  и  $F_2$  имеют либо одинаковые, либо прямо противоположные направления, а их отношение не зависит от положения точки, в которой помещаются пробные заряды. Отношение  $F_1/F_2$  является поэтому характеристикой *самых только пробных зарядов*, а не поля, в которое они помещены. Это позволяет характеризовать состояние

электризации пробного тела определенным числом  $q$ , называемым *электрическим зарядом*. По определению отношение зарядов  $q_1$  и  $q_2$  двух пробных тел равно отношению действующих на них сил  $F_1$  и  $F_2$  при последовательном помещении их в одну и ту же точку поля:

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{F_1}{F_2}. \quad (2.1)$$

При этом предполагается, что силы  $F_1$  и  $F_2$  (а с ними и сравниваемые заряды  $q_1$  и  $q_2$ ) имеют одинаковые знаки, если эти силы совпадают по направлению, и противоположные знаки, если их направления прямо противоположны.

То обстоятельство, что при введении этого определения заряды предполагались пробными, не лишает его общности. Действительно, каковы бы ни были размеры заряженных тел, всегда можно поместить их в электрическое поле столь удаленных зарядов, что по отношению к этому полю рассматриваемые тела могут считаться пробными.

Заряд какого-либо произвольно взятого тела можно условно принять за единицу. Тогда измерение отношения сил  $F_1/F_2$  дает способ определения величины заряда в «абсолютной мере».

3. *Заряд тела не зависит от выбора (инерциальной) системы отсчета, в которой он измеряется.* Он инвариантен относительно перехода от одной инерциальной системы отсчета к другой. Это непосредственно следует из принципа относительности и принятого нами способа сравнения зарядов путем измерения сил, действующих на *неподвижные* заряды. Заряд одинаков во всех инерциальных системах отсчета по той же причине, по которой в них одинакова масса покоя одного и того же тела. Конечно, всякое измерение дает не абсолютное значение заряда, а только *отношение зарядов* рассматриваемых тел. Инвариантны не самые заряды, а *отношения зарядов*. Однако если условиться заряд какого-либо тела считать одинаковым во всех системах отсчета, то это будет справедливо и в отношении всех остальных зарядов. Именно такой смысл мы придаем утверждению об инвариантности заряда относительно выбора системы отсчета.

4. Соотношение (2.1) мы распространяем на случай любых переменных полей. Остается ли поле постоянным или меняется во времени — это не имеет значения. Важно только, чтобы в моменты измерения сил  $F_1$  и  $F_2$  поле, действующее на заряды  $q_1$  и  $q_2$ , было одним и тем же и чтобы заряды  $q_1$  и  $q_2$  оставались неподвижными. Конечно, это утверждение также является обобщением опытных фактов.

*Сила, действующая на единичный неподвижный пробный электрический заряд, называется напряженностью электрического поля и обозначается  $E$ .* Если в соотношении (2.1) взять  $q_1 = 1$ , то будем иметь  $F_1 = E$ . Опуская далее индекс 2 и переходя к векторной

форме записи, находим силу  $F$ , действующую в электрическом поле  $E$  на неподвижный точечный заряд  $q$ :

$$F = qE. \quad (2.2)$$

Напряженность электрического поля  $E$  есть вектор, так как заряд  $q$  является скаляром, а сила  $F$  — вектором (см. т. I, § 7).

5. Указание на неподвижность заряда в определении напряженности электрического поля существенно. Дело в том, что силы, действующие на электрический заряд, зависят не только от электрического, но и от *магнитного поля*. Однако магнитное поле, как показывает опыт, действует только на *движущиеся* заряды и не действует на неподвижные. Используя при определении  $E$  неподвижные заряды, мы исключаем влияние магнитного поля.

Заряд, неподвижный в одной системе отсчета, уже не неподвижен в другой системе, движущейся относительно первой. Полная сила  $F$ , действующая на него (в нерелятивистском приближении), одна и та же в обеих системах отсчета. Но в первой системе, относительно которой заряд покоится, эта сила чисто электрическая, тогда как во второй системе, относительно которой заряд движется, она складывается из электрической и магнитной сил. Если измерить напряженность электрического поля во второй системе с помощью неподвижного в ней пробного заряда, то она окажется иной, чем в первой системе отсчета. Значит, *разделение поля на электрическое и магнитное зависит от выбора системы отсчета*. Электрическое и магнитное поля неразрывно связаны друг с другом. Невозможно разделить весь комплекс явлений на явления чисто электрические и чисто магнитные. При переходе от одной системы отсчета к другой электрическое и магнитное поля определенным образом преобразуются. Законы этого преобразования даются в теории относительности. Поэтому *полная теория электромагнитных явлений должна быть релятивистской*.

6. Фундаментальным свойством электричества является существование его в двух видах — в виде *положительного* и *отрицательного* электричеств. В окружающем нас мире количества этих электричеств в высокой степени одинаковы. Это не удивительно, поскольку одноименные электричества отталкиваются, а разноименные — притягиваются. Другим фундаментальным свойством электричества является *закон сохранения электрического заряда*, являющийся обобщением опытных фактов. Он утверждает, что *полный заряд системы не может измениться, если через ее границу не проходят электрически заряженные частицы*. Это не значит, что сохраняются в отдельности положительный и отрицательный заряды системы. Например, если в системе имеются частицы высоких энергий, то в ней могут рождаться фотоны также высоких энергий. Фотоны могут также вступать в систему через ее границу. Фотоны высокой энергии при взаимодействии с атомами вещества

могут породить «пару», состоящую из отрицательно заряженного электрона и положительно заряженного позитрона. По отношению к такому процессу энергия фотона считается высокой, если она превосходит сумму энергий покоя электрона и позитрона. Возможен обратный процесс, в котором пара электрон — позитрон исчезает (аннигилирует) с испусканием фотонов. Подобного рода процессы меняют количества положительного и отрицательного электричества в системе. Однако полный заряд ее сохраняется неизменным. Впрочем, в настоящем томе мы будем иметь дело только с частицами «низких» энергий, для которых такие процессы невозможны. Тогда сохраняются не только полный заряд, но также положительный и отрицательный заряды в отдельности.