

крытий выросла затем полная классическая теория электромагнетизма. Максвелл придал ей математическую формулировку, а Герц в 1888 г. блестяще подтвердил ее экспериментально, показав существование электромагнитных волн.

Специальная теория относительности уходит своими историческими корнями в электромагнетизм. Лоренц, исследуя электродинамику движущихся зарядов, очень близко подошел к окончательной формулировке Эйнштейна, и великая работа Эйнштейна, появившаяся в 1905 г., была озаглавлена не «Теория относительности», а «Об электродинамике движущихся тел». Сегодня в постулатах теории относительности и в их следствиях мы видим широкую картину, охватывающую все физические законы, а не только законы электромагнетизма. Мы требуем, чтобы любая полная физическая теория была релятивистски инвариантной. Рассказ о событиях должен звучать одинаково во всех инерциальных системах отсчета. Случилось так, что в физике, задолго до того как осознали важность релятивистской инвариантности, уже существовала одна релятивистски инвариантная теория — теория электромагнетизма Максвелла. Могли ли возникнуть идеи специальной теории относительности в отсутствие полной теории электромагнитного поля — это вопрос для историков науки; возможно, на него не будет ответа. Мы можем только сказать, что в действительной истории путь, ведущий от стрелки компаса Эрстеда к постулатам Эйнштейна, обозначен довольно ясно.

В этой и в следующей главе мы проследим этот путь почти в обратном направлении. Это не означает пренебрежения к истории. Мы полагаем, что человеку, интересующемуся историей этих великих открытий только поможет ясное представление о глубокой связи между электричеством и магнетизмом. Эту связь можно легко и непосредственно обнаружить, взглянув на то, что мы уже знаем об электрическом заряде и электрическом поле с точки зрения специальной теории относительности. Но перед этим сделаем обзор некоторых явлений, которые мы попытаемся объяснить.

5.2. Магнитные силы

Два параллельных провода, по которым текут одинаково направленные токи, притягиваются друг к другу. Сила, приходящаяся на единицу длины любого из проводов, пропорциональна произведению обоих токов и обратно пропорциональна расстоянию между проводами (рис. 5.1, а). Перемена направления одного из токов превращает силу притяжения в силу отталкивания. Так, два куска провода на рис. 5.1, б, являющиеся частью одной цепи, стремятся разойтись. Между двумя нитями с постоянным электрическим током существует нечто вроде «действия на расстоянии». Оно не имеет ничего общего с каким-либо статическим электрическим зарядом на поверхности проволоки. Такие заряды могут существовать и провода могут находиться под разными потенциалами, однако сила, о которой мы говорим, зависит только от движения зарядов по

проводам, т. е. от двух токов. Между проводами можно вставить лист металла — это никак не повлияет на нашу силу (рис. 5.1, в). Новые силы, возникающие только от движения зарядов, называются *магнитными силами*.

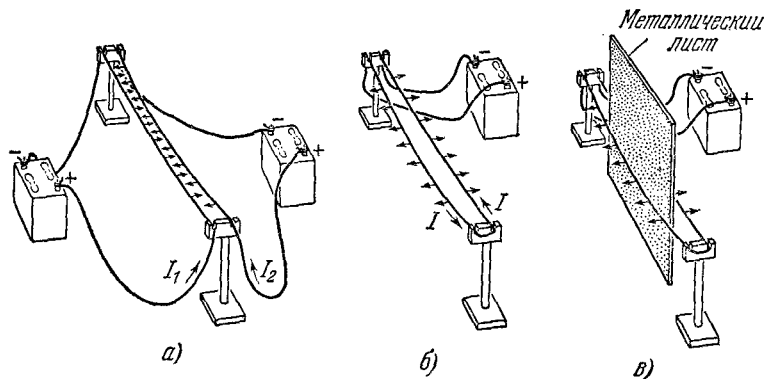


Рис. 5.1. а) Параллельные провода с токами одинакового направления притягиваются. б) Параллельные провода с токами противоположного направления отталкиваются. в) Металлическая пластинка (лист), помещенная между проводами, не влияет на силы между ними.

Стрелка компаса Эрстеда (рис. 5.2, а) мало похожа на цепь постоянного тока. Однако то, о чем первым догадался Ампер, теперь известно всем: намагниченное железо наполнено непрерывно движущимися зарядами — электрическими токами в атомном масштабе. Тонкая катушка проволоки, по которой течет ток от батарей

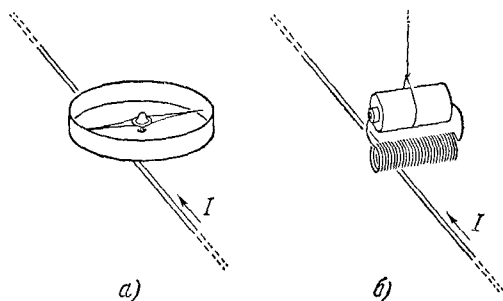


Рис. 5.2. Ток в проводнике одинаково действует на стрелку компаса (а) и на катушку провода с током (б).

(рис. 5.2, б), ведет себя под влиянием проходящего вблизи тока точно так же, как и стрелка компаса. Наблюдая вместо провода с током движение свободных заряженных частиц, мы не обнаружим различия. Электроны в катодно-лучевой трубке, обычно движущиеся прямолинейно, отклоняются к проводу с током или от него, в зависимости от направления тока в этом проводе (рис. 5.3). В лаборатории вы уже познакомились с этим явлением и знаете, что взаимодействие токов с другими движущимися зарядами можно описать, введя

магнитное поле. (Вспомните, что электрическое поле было просто способом описания «действия на расстоянии» между неподвижными зарядами, которое выражается законом Кулона.) Мы говорим, что электрический ток сопровождается магнитным полем, которое пронизывает окружающее пространство. Другой ток или же любая движущаяся заряженная частица, находящаяся в этом поле, испытывает действие силы, пропорциональной величине магнитного поля в этой точке. Для заряженной частицы направление этой силы всегда перпендикулярно к скорости частицы. Полная сила, действующая на частицу с зарядом q , дается выражением

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E} + \frac{q}{c} \mathbf{v} \times \mathbf{B}, \quad (1)$$

где \mathbf{B} — магнитное поле.

Мы используем уравнение (1) как определение \mathbf{B} . Магнитное поле \mathbf{B} есть вектор, с которым связана та часть силы, действующей на движущийся заряд, которая пропорциональна его скорости. Другими словами, приказание: «Измерить направление и величину вектора \mathbf{B} в таком-то месте» — требует выполнения следующих операций. Необходимо иметь частицу с известным зарядом q и измерить силу, действующую на неподвижный заряд q . Это даст нам величину \mathbf{E} . Затем измерим силу, действующую на частицу, когда ее скорость равна \mathbf{v} ; повторим эти измерения, придав \mathbf{v} какое-нибудь другое направление. Наконец, найдем \mathbf{B} , которое обеспечивает выполнение уравнения (1) для всех выполненных измерений, — это и будет магнитное поле в интересующей нас точке.

Ясно, что это ничего не объясняет. Почему уравнение (1) справедливо? Почему всегда можно найти \mathbf{B} , удовлетворяющее при всех возможных скоростях такому простому соотношению? Мы хотим понять, почему существует сила, пропорциональная скорости. То, что эта сила в точности пропорциональна \mathbf{v} , а действие электрического поля совсем не зависит от \mathbf{v} , является замечательным фактом! На следующих страницах мы увидим, почему это происходит.

5.3. Измерение заряда во время движения

Что нужно сделать, чтобы измерить величину электрического заряда движущейся частицы? Пока не разрешен этот вопрос, бессмысленно говорить о том, как движение влияет на сам заряд. Заряд можно измерить только по явлениям, которые он вызывает. Покоя-

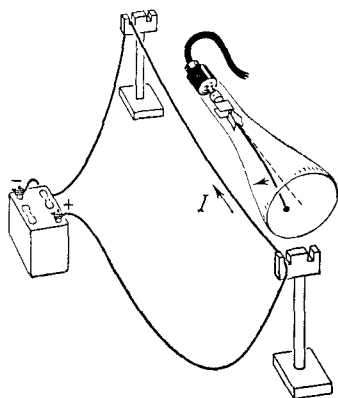


Рис. 5.3. Пример притяжения токов одинакового направления (ср. с рис. 5.1, а). Это явление можно описать как отклонение пучка электронов магнитным полем.