

частицами, как мы убедимся далее, в металлах являются электроны проводимости; в жидких проводниках (электролитах) — положительные и отрицательные ионы; в газах — положительные ионы и электроны, а также иногда и отрицательные ионы.

Второе — наличие в данной среде электрического поля, энергия которого затрачивалась бы на перемещение электрических зарядов. Для того чтобы ток был длительным, энергия поля должна все время пополняться, иными словами, нужен источник электрической энергии — устройство, в котором осуществляется преобразование какого-либо вида энергии в энергию электрического поля. В зависимости от свойств этих источников в электротехнике различают источники напряжения и источники тока. Поэтому во избежание недоразумений мы будем пользоваться в дальнейшем только термином «источник электрической энергии».

3. Упорядоченное движение зарядов можно осуществить и другим способом — перемещением в пространстве заряженного тела (проводника или диэлектрика). Такой электрический ток называется конвекционным. Например, движение по орбите Земли, обладающей избыточным отрицательным зарядом, можно рассматривать как конвекционный ток.

За направление тока условно принимают направление движения положительных зарядов.

§ 8.2. Сила и плотность тока

1. Для характеристики электрического тока через какую либо поверхность (например, в случае тока проводимости — через поперечное сечение проводника) вводится понятие силы тока. Сила тока¹ называется физическая величина I , равная отношению заряда dq , переносимого через рассматриваемую поверхность S за малый промежуток времени dt , к величине этого промежутка:

$$I = dq/dt. \quad (8.1)$$

Если сила тока и его направление не изменяются с течением времени, то ток называется постоянным. Сила постоянного тока

$$I = q/t, \quad (8.2)$$

где q — заряд, переносимый через поверхность S за конечный промежуток времени t .

Для того чтобы ток проводимости был постоянным, заряды не должны накапливаться или убывать ни в одной части проводника. Поэтому цель постоянного тока должна быть замкнутой, а суммарный электрический заряд, который поступает за одну секунду сквозь поверхность S_1 в объем проводника, заключенный между двумя произвольно выбранными поперечными сечениями S_1 и S_2 (рис. 8.1),

¹ В электротехнике величина I называется просто током. В дальнейшем мы часто будем пользоваться этим термином.

должен быть равным суммарному заряду, выходящему из этого объема за то же время сквозь поверхность S_2 . Таким образом, сила постоянного тока I во всех сечениях проводника одинакова.

2. Единица силы тока в СИ — ампер (А) — определяется на основании электромагнитного взаимодействия двух параллельных прямолинейных постоянных токов (см. § 15.3). Из формулы (8.2) следует, что один ампер равен силе постоянного электрического тока, при котором через любое поперечное сечение проводника переносится заряд, равный 1 Кл:

$$1 \text{ А} = 1 \text{ Кл/с.}$$

Соответственно единица силы тока в системе СГСЭ

$$1 \text{ СГСЭ}_I = 1 \text{ СГСЭ}_q/c.$$

Таким образом, $1 \text{ А} = 1 \text{ Кл/с} = 3 \cdot 10^9 \text{ СГСЭ}_I$

3. Для характеристики направления электрического тока в различных точках рассматриваемой поверхности и распределения силы тока по этой поверхности вводится вектор плотности тока. Вектор плотности электрического тока \mathbf{j} совпадает по направлению с движением положительно заряженных частиц — носителей заряда и численно равен отношению силы тока dI сквозь малый элемент поверхности, нормальный к направлению движения заряженных частиц, к площади dS этого элемента:

$$\mathbf{j} = dI/dS_{\perp}. \quad (8.3)$$

В СИ плотность тока измеряется в амперах на квадратный метр (А/м^2).

Найдем связь между плотностью тока \mathbf{j} и силой тока dI через малый элемент dS поверхности, нормаль к которому составляет с \mathbf{j} угол α . Площадь dS_{\perp} проекции площадки dS на плоскость, нормальную к \mathbf{j} , равна $dS_{\perp} = dS \cos \alpha$. Поэтому в соответствии с (8.3)

$$dI = j \cos \alpha \cdot dS = j_n dS, \text{ или } dI = \mathbf{j} \mathbf{n} dS = \mathbf{j} dS, \quad (8.3')$$

где \mathbf{n} — единичный вектор, перпендикулярный площадке dS , $j_n = j \cos \alpha$ — проекция вектора \mathbf{j} на направление нормали \mathbf{n} , $dS = \mathbf{n} dS$ — вектор элементарной площадки.

4. Из формул (8.3') следует, что сила тока через произвольную поверхность S равна

$$I = \int_S j_n dS = \int_S \mathbf{j} dS, \quad (8.4)$$

где интегрирование проводится по всей площади этой поверхности. В дальнейшем при нахождении силы тока проводимости мы будем рас-

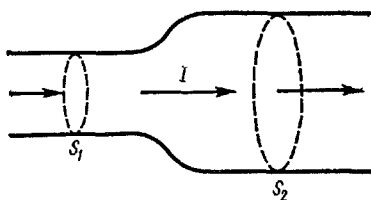


Рис. 8.1

считать поперечные сечения проводника, для которых $dS_1 = dS$ и $j_n = j$, так что

$$I = \int_S j dS. \quad (8.4')$$

Опыты показали, что плотность постоянного тока одинакова по всему поперечному сечению S однородного проводника. Поэтому для постоянного тока формулу (8.4') можно записать в виде

$$I = jS. \quad (8.5)$$

В цепи постоянного тока, состоящей из проводников с переменной площадью поперечного сечения (рис. 8.1), плотности тока в различных сечениях S_1 и S_2 обратно пропорциональны площадям этих сечений:

$$j_1 : j_2 = S_2 : S_1.$$

§ 8.3. Опытные доказательства электронной проводимости металлов

1. Рассматривая металлические проводники, мы считали, что их электропроводность обусловлена наличием в металлах электронов проводимости. Это предположение было экспериментально подтверждено лишь в начале XX

столетия. Для опыта брали три металлических цилиндра (медный, алюминиевый и медный) одинакового радиуса, соединенных последовательно (рис. 8.2). Через эту цепь в течение очень долгого времени (более года) пропускали ток. В общей сложности

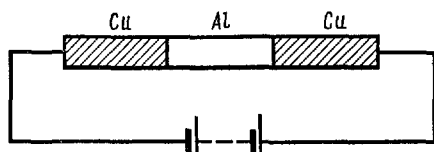


Рис. 8.2

через цилиндры прошел заряд $3,5 \cdot 10^6$ Кл. Однако никаких следов переноса вещества (меди или алюминия) не было обнаружено. Следовательно, электропроводность металлов обусловлена перемещением таких заряженных частиц («носителей заряда»), которые являются общими для всех металлов и не связаны с различием их физических и химических свойств.

2. Для изучения природы носителей заряда в металле рассмотрим следующий опыт. Пусть металлический стержень C длиной l движется поступательно со скоростью v_0 (рис. 8.3, а) В результате взаимодействия с кристаллической решеткой носители заряда в проводнике будут также двигаться со скоростью v_0 . Предположим, что стержень резко тормозится и в момент торможения замыкается неподвижным металлическим проводником B , включенным в цепь гальванометра G (рис. 8.3, б). Очевидно, что носители заряда, не связанные жестко с кристаллической решеткой, будут продолжать двигаться по инерции до тех пор, пока взаимодействие с ионами решетки не остановит их. Поэтому в замкнутой цепи пойдет кратковременный ток, который мож-