

трической цепи, а не напряжению $U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 + \mathcal{E}_{12}$. В случае пассивного участка $\mathcal{E}_{12} = 0$, поэтому разность потенциалов и напряжение на таком участке равны друг другу.

§ 9.3. Закон Джоуля—Ленца

1. В том случае, когда электрический ток в цепи постоянен, а образующие ее проводники не подвижны, работа сторонних сил целиком расходуется на нагревание проводников¹.

Если в единице объема проводника за единицу времени выделяется энергия ω (объемная плотность тепловой мощности), то в объеме dV за время dt — энергия

$$dW = \omega dV dt.$$

По закону Джоуля—Ленца (8.16'), объемная плотность тепловой мощности тока $\omega = \mathbf{E} \cdot \mathbf{j}$. Поэтому

$$dW = \mathbf{E} \cdot \mathbf{j} dV dt. \quad (9.12)$$

Объем dV равен произведению элемента длины проводника dl на элемент площади поперечного сечения dS : $dV = dl \cdot dS$. Так как векторы \mathbf{j} и $d\mathbf{l}$ совпадают по направлению, то $\mathbf{j} = j(d\mathbf{l}/dl)$. Подставив выражения для dV и \mathbf{j} в (9.12), получим

$$dW = \mathbf{E} dl j dS dt. \quad (9.13)$$

2. Энергию W , выделяющуюся за время t по всему объему проводника, длина которого l , а площадь поперечного сечения S , найдем интегрированием выражения (9.13):

$$W = IUt, \quad (9.14)$$

где I — сила тока, а U — напряжение на рассматриваемом участке цепи постоянного тока.

Соответствующее этой энергии количество теплоты, выделяющейся в проводнике,

$$Q = IUt. \quad (9.15)$$

Формула (9.15) выражает закон Джоуля — Ленца: количество теплоты, выделяемой током в проводнике, пропорционально силе тока, времени его прохождения и напряжению.

3. Пусть R — сопротивление проводника, тогда по закону Ома $U = IR$ и формулу (9.15) можно переписать в виде

$$Q = I^2 R t, \quad \text{или} \quad Q = U^2 t / R. \quad (9.15')$$

Зависимость количества теплоты, выделяющейся в проводнике при прохождении тока, от сопротивления проводника можно продемонстрировать на следующих опытах. Возьмем два куска медной и нихро-

¹ Речь идет об электрических цепях, составленных из металлических проводников.

мовой проволоки, одинаковых по длине и площади поперечного сечения. Удельное сопротивление нихрома приблизительно в 60 раз больше удельного сопротивления меди. Во столько же раз сопротивление R_1 куска нихромового провода больше сопротивления R_2 медного провода. Соединим эти провода последовательно и включим их в цепь аккумуляторной батареи B через резистор (рис. 9.5, а). Подбирая величину R его сопротивления, можно добиться того, что нихромовый провод раскалится докрасна. Температура медного провода при этом повысится незначительно, и до него можно дотронуться рукой. Этот опыт легко объяснить с помощью первой формулы (9.15'), выражающей закон Джоуля—Ленца. Сила тока в последовательно соединенных проводах одинакова. Поэтому выделяющиеся в них количества теплоты пропорциональны их сопротивлениям:

$$Q_1 : Q_2 = R_1 : R_2 \approx 60.$$

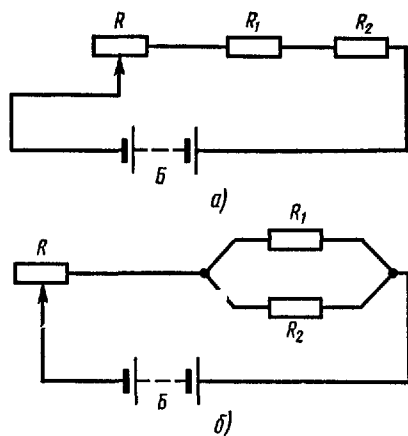


Рис. 9.5

Соединим теперь медный и нихромовый провода параллельно и вновь включим в цепь аккумуляторной батареи (рис. 9.5, б). В этом случае картина изменяется: медный провод раскалится докрасна, а нихромовый почти не нагревается. Для объяснения этого опыта удобно воспользоваться второй формулой (9.15') закона Джоуля—Ленца. Напряжения на параллельно соединенных проводах одинаковы. Поэтому выделяющиеся в проводах количества теплоты обратно пропорциональны их сопротивлениям:

$$Q_2 : Q_1 = R_1 : R_2 \approx 60.$$

4. Тепловое действие электрического тока нашло широкое применение в технике. В 1873 г. русский инженер А. Н. Лодыгин впервые использовал тепловое действие тока для устройства электрического освещения. Первоначально им были созданы лампы накаливания с угольными стерженьками. В дальнейшем Лодыгин их значительно усовершенствовал, а в 1893—1894 гг. получил патенты на лампы накаливания с платиновой нитью, покрытой различными металлами (радийем, хромом, вольфрамом и др.).

На нагревании проводников электрическим током основано действие электродухов и различных бытовых нагревательных приборов. Это явление используется также в электронных лампах, в измерительной технике, в контактной электросварке и во многих других областях техники.