

Следовательно, при комнатной температуре  $\Delta\varphi_{12} \approx 0,03$  В, т.е.  $\Delta\varphi_{12} \ll \Delta\varphi_{12}$ .

Опыт показывает, что  $\Delta\varphi_{12}$  практически не зависит от температуры, в то время как  $\Delta\varphi_{12}$  возрастает пропорционально абсолютной температуре [если пренебречь более слабой зависимостью  $\ln(n_{01}/n_{02})$  от температуры].

## § 10.2. Термоэлектрические явления и их применения

1. Рассмотрим замкнутую цепь, состоящую из двух металлических проводников 1 и 2 (рис. 10.4). По закону Ома (9.11) электродвижущая сила  $\mathcal{E}$ , приложенная в этой цепи, равна сумме падений напряжений  $U_1$  и  $U_2$  соответственно на участках  $a1b$  и  $b2a$ , т.е. в первом и втором проводниках (направление обхода контура показано на рис. 10.4 стрелками):

$$\mathcal{E} = U_1 + U_2.$$

Значения  $U_1$  и  $U_2$  можно определить с помощью закона Ома для участка цепи (9.9), если учесть, что на участках  $a1b$  и  $b2a$  нет приложенных э.д.с.:  $U_1 = \varphi_{1a} - \varphi_{1b}$  и  $U_2 = \varphi_{2b} - \varphi_{2a}$ , так что

$$\mathcal{E} = (\varphi_{1a} - \varphi_{2a}) + (\varphi_{2b} - \varphi_{1b}).$$

Таким образом, в рассматриваемой цепи действует электродвижущая сила, равная алгебраической сумме всех внутренних контактных разностей потенциалов.

Если температуры обоих спаев одинаковы, т.е.  $T_a = T_b = T$ , то на основании уравнения (10.4) имеем

$$\mathcal{E} = \frac{kT}{e} \ln \frac{n_{01}}{n_{02}} + \frac{kT}{e} \ln \frac{n_{02}}{n_{01}} = 0.$$

В замкнутой цепи, образованной из нескольких металлических проводников, все спаи которой находятся при одинаковых температурах, невозможно возникновение электродвижущей силы за счет одних только контактных скачков потенциала.

2. Иначе обстоит дело, если температуры спаев  $T_a$  и  $T_b$  различны, например  $T_a > T_b$ . В этом случае в замкнутой цепи появляется так называемая **термоэлектродвижущая сила** (термо-э.д.с.), которая, как видно из (10.4), пропорциональна разности температур спаев:

$$\mathcal{E} = \frac{k}{e} (T_a - T_b) \ln \frac{n_{01}}{n_{02}} = \alpha (T_a - T_b), \quad (10.6)$$

где  $\alpha = (k/e) \ln(n_{01}/n_{02})$  — величина, характеризующая свойства кон-

такта данных двух металлов и называемая **удельной термо-э.д.с.**<sup>1</sup> Благодаря термоэлектродвижущей силе в замкнутой цепи возникает термоэлектрический ток, направление которого при  $T_a > T_b$  ( $n_{01} > n_{02}$ ) указано стрелками на рис. 10.4. Для поддержания постоянного тока необходимо обеспечивать постоянство разности температур спаев, т.е. к более нагретому спаю нужно непрерывно подводить теплоту, а от холодного — непрерывно ее отводить. В данном случае происходит преобразование внутренней энергии системы в электрическую, которое полностью соответствует второму закону термодинамики: для осуществления этого преобразования энергии используют два источника теплоты (нагреватель и холодильник). Коэффициент полезного действия замкнутого цикла, описывающего подобное преобразование внутренней энергии в электрическую, невелик и составляет 0,1%. Весьма мала и термоэлектродвижущая сила, не превышающая нескольких милливольт при разности температур спаев  $T_a - T_b$ , равной 100 К.

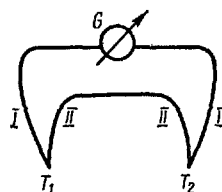


Рис. 10.5

3. Термоэлектрические явления в металлах в настоящее время широко используются главным образом для измерения температуры. Для этой цели применяют **термоэлементы**, или **термопары**, представляющие собой две проволоки, изготовленные из различных металлов или сплавов, с известным значением коэффициента  $\alpha$  в уравнении (10.6). Концы этих проволок сварены (рис. 10.5). Один спай помещается в среду, температуру  $T_1$  которой нужно измерить, а второй — в среду с известной постоянной температурой  $T_2$  (например, в сосуд Дьюара с тающим льдом). Термопары в отличие от обычных термометров позволяют измерять температуры в широком интервале:  $\sim (10 \div 10^3)$  К.

С помощью термопары можно не только измерять температуру, но и следить за ее изменением во времени. Возможность установить гальванометр на значительном расстоянии от термопары позволяет с успехом применять термопары в контрольных и автоматических устройствах (терморегуляторы и т. п.).

Для увеличения чувствительности термопар применяют их последовательные соединения, называемые **термобатареями** или **термостолбиками**.

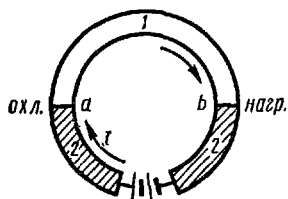


Рис. 10.6

4. При пропускании тока через цепь, состоящую из двух различных спаянных металлов, происходит не только их нагревание вследствие выделения джоулевой теплоты, но и добавочное выделение теплоты в одном из спаев, в то время как другой спай охлаждается (рис. 10.6). Если направление электрического тока совпадает

<sup>1</sup> При значительных изменениях температуры спаев коэффициент  $\alpha$  в уравнении (10.6) несколько изменяется, что можно объяснить изменением отношения концентраций электронов  $n_{01}/n_{02}$  в спаянных металлах.

с направлением термоэлектрического, возникающего при условии  $T_a > T_b$  (рис. 10.4), то происходит нагревание спая  $b$  и охлаждение спая  $a$ . При изменении направления тока на обратное спай  $b$  охлаждается, а спай  $a$  нагревается. Это явление было открыто Пельтье в 1834 г. и называется **эффектом Пельтье**.

Явление Пельтье, так же как и появление термоэлектрической э.д.с., связано с возникновением контактной разности потенциалов на границе двух металлов. Предположим, что металл 1 спая  $a$  зарядился положительно, а металл 2 — отрицательно, т.е. что  $n_{01} > n_{02}$ . Тогда в случае, если ток и термоэлектрический ток совпадают по направлению, как показано на рис. 10.6, при  $T_a > T_b$  электроны в спая  $a$  движутся в направлении  $1 \rightarrow 2$  и тормозятся электрическим полем контактного слоя. При этом кинетическая энергия электронов частично преобразуется в их потенциальную энергию, так что температура электронного газа и кристаллической решетки, находящейся с ним в термодинамическом равновесии, понижается — спай  $a$  охлаждается. В спая  $b$  происходит обратное явление. Электроны, движущиеся в этом спая в направлении  $2 \rightarrow 1$ , ускоряются электрическим полем контактного слоя. Поэтому температура спая  $b$  повышается. Очевидно, что при изменении направления тока на противоположное спай  $a$  будет нагреваться, а спай  $b$  — охлаждаться.

Явление Пельтье можно использовать для устройства холодильной машины (см. т. 1, § 12.1). Однако экономичность такой машины, основанной на эффекте Пельтье в металлах, очень мала. Значительно более экономичными являются полупроводниковые холодильные устройства (см. § 13.8).

5. Необходимо отметить, что истолкование контактных термоэлектрических явлений, приведенное в этой главе и основанное на представлениях о классическом электронном газе в металлах, не дает правильного ответа на многие вопросы. Например, неясным остается вопрос, почему все термоэлектрические эффекты, связанные с контактом двух металлов, столь малы. Как мы увидим в гл. XIII (см. § 13.1), причина этой и всех других трудностей классической теории электропроводности металлов (см. § 8.7) заключается в том, что для описания свойств электронов в металлах и других твердых телах нельзя применять классические представления об электронном газе.

### § 10.3. Термоэлектронная эмиссия

1. Явление термоэлектронной эмиссии состоит в испускании электронов нагретыми металлами. Электрон проводимости может вылететь из какого-либо металла в том случае, если его энергия  $W$  превышает работу  $A$  выхода электрона из металла.

Концентрация  $n_0$  электронов проводимости в металле весьма велика; их тепловые скорости при данной температуре различны и распределены, по классическим представлениям, в соответствии с законом Максвелла (см. т. 1, § 11.2). Это означает, что даже при средних тем-