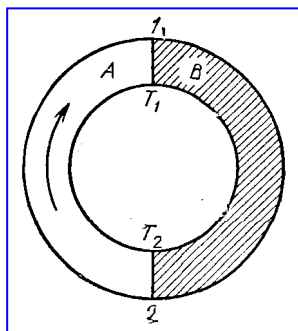


## Термоэлектрические явления

Термоэлектрическими называют такие явления, в которых проявляется специфическая связь между тепловыми и электрическими процессами в металлах и полупроводниках.

**Явление Зеебека.** Зеебек (1821 г) обнаружил, что если спаи 1 и 2 двух разнородных металлов, образующих замкнутую цепь (рис. 15.17), имеют неодинаковую температуру, то в цепи течет электрический ток. Изменение знака у разности температур спаев сопровождается изменением направления тока.



В замкнутой цепи для многих пар металлов электродвижущая сила прямо пропорциональна разности температур в контактах

Рис. 15.17.

$$E_{\text{термо}} = \alpha_{AB} (T_2 - T_1) \quad (15.13)$$

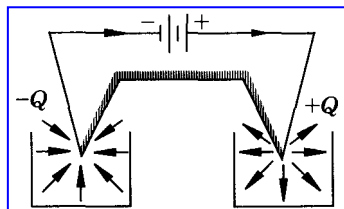
Эта ЭДС называется **термоэлектродвижущей силой**. Причина возникновения термоэлектродвижущей ЭДС можно понять с помощью формулы (15.12), которая определяет внутреннюю контактную разность потенциалов на границе двух металлов. Так как положение уровня Ферми зависит от температуры, то при разных температурах контактов разными будут и внутренние контактные разности потенциалов. Поэтому сумма скачков потенциала на контактах будет отлична от нуля, что и приводит к возникновению термоэлектрического тока. При градиенте температуры происходит также диффузия электронов, которая тоже обуславливает термо-ЭДС.

Явление Зеебека используется:

- 1) для измерения температуры с помощью **термопар** – датчиков температур, состоящих из двух соединенных между собой разнородных металлических проводников. Таких спаев в термопаре может быть несколько;
- 2) для создания генераторов тока с прямым преобразованием тепловой энергии в электрическую. Их используют, в частности, на космических кораблях, спутниках в качестве бортовых источников электроэнергии;
- 3) для измерения мощности инфракрасного, видимого и ультрафиолетового излучений.

**Явление Пельтье.** Это явление (1834 г.) можно считать обратным термоэлектричеству. Если через термопару пропустить электрический ток от постороннего источника (рис. 15.18), то один из спаев будет нагреваться, а другой охлаждаться. Теплота, выделенная на одном спае (+Q), будет равна теплоте, поглощенной на другом (-Q). При изменении направления тока роль спаев изменится.

Количество выделившейся или поглощенной теплоты пропорционально заряду  $q$ ,



протекшему через спай:

Рис. 15.18.

$$Q = \Pi q \quad (15.14)$$

где  $\Pi$  — *коэффициент Пельтье*, зависящий от соприкасающихся материалов и их температуры.

Закономерность (15.14) позволяет определить *количество теплоты Пельтье*, которое отлично от количества теплоты Джоуля — Ленца, так как в последнем случае оно пропорционально квадрату силы тока.

Явление Пельтье используют для создания холодильников, термостатов, установок микроклимата и т. п. Изменяя силу тока в этих устройствах, можно регулировать количество выделяемой или поглощаемой теплоты, а изменяя направление тока, можно преобразовать холодильник в нагреватель и наоборот.

В случае контакта двух веществ с одинаковым видом носителей тока (металл — металл, металл — полупроводник  $n$ -типа, два полупроводника  $n$ -типа, два полупроводника  $p$ -типа) эффект Пельтье имеет следующее объяснение. Носители тока (электроны или дырки) по разные стороны от спая имеют различную среднюю энергию (имеется в виду полная энергия — кинетическая плюс потенциальная). Если носители, пройдя через спай, попадают в область с меньшей энергией, они отдают избыток энергии кристаллической решетке, в результате чего спай нагревается. На другом спае носители переходят в область с большей энергией; недостающую энергию они заимствуют у решетки, что приводит к охлаждению спая.

В случае контакта двух полупроводников с различным типом проводимости эффект Пельтье имеет другое объяснение. В этом случае на одном спае электроны и дырки движутся навстречу друг другу. Встретившись, они рекомбинируют: электрон, находившийся в зоне проводимости  $n$ -полупроводника, попав в  $p$ -полупроводник, занимает в валентной зоне место дырки. При этом высвобождается энергия, которая требуется для образования свободного электрона в  $n$ -полу-проводнике и дырки в  $p$ -полупроводнике, а также кинетическая энергия электрона и дырки. Эта энергия сообщается кристаллической решетке и идет на нагревание спая. На другом спае протекающий ток отсасывает электроны и дырки от границы между полупроводниками. Убыль носителей тока в пограничной области восполняется за счет попарного рождения электронов и дырок (при этом электрон из валентной зоны  $p$ -полупроводника переходит в зону проводимости  $n$ -полупроводника). На образование пары затрачивается энергия, которая заимствуется у решетки, — спай охлаждается.

**Явление Томсона.** Это явление было предсказано У. Томсоном (Кельвин) в 1856 г. При прохождении тока по *неравномерно* нагретому проводнику должно происходить дополнительное выделение (поглощение) теплоты, аналогичной теплоте Пельтье. Это явление после экспериментального подтверждения получило название явления Томсона и объясняется по аналогии с явлением Пельтье.

Так как в более нагретой части проводника электроны имеют бóльшую среднюю энергию, чем в менее нагретой, то, двигаясь в направлении убывания температуры, они отдают часть своей энергии решетке, в результате чего происходит выделение теплоты. Если же электроны движутся в сторону возрастания температуры, то они, наоборот, пополняют свою энергию за счет энергии решетки, в результате чего происходит поглощение теплоты.