Глава 1. Термоэлектричество

1.1 Уровни энергии

Атомы состоят из положительно заряженного ядра и отрицательных электронов, вращающихся вокруг него. Из квантовой физики известно, что электроны, вращающиеся вокруг ядра, могут находиться на различных уровнях энергии.

Уровни энергии электрона точно определены, и электрон может иметь только количество энергии, точно соответствующее данным уровням. То есть, если у атома 2 уровня энергии, электрон находится либо на первом, либо на втором, он не может иметь другое количество энергии.

Каждому электронному уровню соответствует несколько орбиталей, на которых располагаются электроны. Количество этих орбиталей ограничено. Согласно принципу Паули на одной орбитали может находится не более двух электронов, поэтому и количество электронов на одном энергетическом уровне не может превысить максимально допустимое.

1.2 Перемещение электронов между энергетическими уровнями

Электроны способны перескакивать с одного уровня энергии на другой. Для этого необходимо сообщить частице количество энергии, равное разнице между следующим и текущим уровнями энергии. После получения этого заряда электрон перескочит на следующий уровень. Но через какое-то время электрон упадёт обратно, выпустив энергию,

полученную им, в виде фотона. Электроны стремятся занять самые низкие свободные уровни энергии.

1.3 Уровень Ферми

При взаимодействии атомов в веществе их энергетические уровни смещаются и образуют электрические зоны. Электроны, находящиеся на наиболее низких энергетических уровнях слабо взаимодействуют с другими атомами вещества. Эту энергетическую зону называют внутренней. Электроны, находящиеся на наиболее высоких уровнях, называются свободными электронами. Они взаимодействуют с другими атомами и могут перемещаться по кристаллической решётке вещества, то есть являются носителями заряда. Эта энергетическая зона называется зоной проводимости. Между зоной проводимости и внутренней зоной находится так называемая запрещённая зона, равная количеству энергии, которое нужно передать электрону для перехода из одной зону в другую. Электрон не может долго находится в ней, потому что если он получит энергию, недостаточную для перехода в зону проводимости, он вскоре упадёт обратно во внутреннюю зону.

Вероятность нахождения электрона на данном энергетическом уровне при данной температуре определяется функцией Ферми-Дирака. При возрастании температуры электроны занимают более высокий уровни. Уровень Ферми – энергетический уровень, находящийся в запрещённой зоне, вероятность заполнения которого равна 0,5. При T = 0K вероятность нахождения электронов выше уровня Ферми равна 0, ниже – 1. Энергия Ферми – количество энергии, необходимое для перехода из внутренней зоны на уровень Ферми.

Из функции видно, что при повышении температуры количество электронов в зоне проводимости возрастает.

1.4 Термоэлектрические эффекты

Термоэлектрические эффекты демонстрируют связь между разностью температур и электрическим потенциалом. К этим явлениям относятся эффекты Зеебека, Пельтье и Томсона.

1.4.1 Эффект Зеебека

Если спаи двух различных проводников (далее термопара) имеют различные температуры, возникает термоэлектродвижущая сила (далее ТЭДС). Электрический ток в такой цепи направлен от горячего контакта к холодному.

При соприкосновении двух металлов A и B с разным уровнем Ферми возникает контактная разность потенциалов. Если уровень Ферми в металле B больше, чем в A, то электроны с более высоких уровней B будут перескакивать на более низкие свободные энергетические уровни металла A. В итоге уровень Ферми выравняется (у электронов будет одинаковый максимальный энергетический уровень). Но так как электроны перемещаются из металла B в A, то контакт B будет заряжен положительно, а A – отрицательно. Возникнет разница потенциалов.

Но если оба контакта будут находиться при одинаковой температуре, их ТЭДС из этих контактов будут направлены в противоположные стороны, и электроны не будут двигаться. Но если один из контактов будет нагрет, его электроны будут располагаться на более высоких уровнях, что позволит им перемещаться к более низким уровням второго контакта.

Таким образом ТЭДС, возникающая в термопаре, зависит от разницы температур и природы металлов. Она увеличивается с ростом температуры “горячего” контакта, пока не достигнет максимума, а потом начинает уменьшаться. Наибольшая ТЭДС возникает при использовании полупроводников.

1.4.2 Эффект Пельтье

Явление, обратное эффекту Зеебека. Если через термопару пропустить электрический ток, то один из контактов начинает выделять тепло, а другой – поглощать.

1.4.3 Эффект Кельвина-Томсона

Если металлический стержень нагревать в одной точке, одновременно пропуская через него электрический ток, то на концах, равноудалённых от точки нагрева, возникает разность температур.

1.5 Применение

Термоэлектрические устройства используются достаточно редко из-за низкой эффективности. Тем не менее, в некоторых сферах они незаменимы. Основными преимуществами термоэлектрических элементов является прямое преобразование количества теплоты в электрический ток и наоборот, без использования каких-либо движущихся частей. Также термоэлектрические элементы бесшумны и безопасны для окружающей среды.

Одним из примеров практического применения эффекта Зеебека является термоэлектрический термометр. “Холодный” контакт такого устройства находится при постоянной температуре, а “горячий” нагревается. По возникающей ТЭДС можно определить разницу температур между контактами, так как они прямо пропорциональны.

Такие термометры могут измерить температуру не больше, чем при максимальной ТЭДС такой термопары.

Эффект Зеебека нашёл активное применение в сфере беспилотных космических полётов. Многие космические аппараты требуют постоянной энергии на протяжении длительного времени, а обслужить их невозможно. В таких аппаратах используются РИТЭГи (радиоизотопный термоэлектрический генератор). Он преобразует тепло, выделяемое при распаде радиоактивных изотопов, в электроэнергию. Такие генераторы имеют невысокий КПД, но длительность их использования очень велика.

Наконец, возможно использование эффекта Зеебека для уменьшения загрязнения окружающей среды. В автомобилях, на различных предприятиях и электростанциях в атмосферу выделяется большое количество тепла, что и является причино парникового эффекта. Термоэлектрические преобразователи можно использовать для переработки этого выброшенного тепла в электроэнергию. Это приведёт и к уменьшению парникового эффекта, и к большей экономии энергии.

Эффект Пельтье используется в маленьких холодильниках, так как там нет необходимости в большой разнице температур, а КПД не очень важен.