

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-

пературах в металле имеется достаточно большое число электронов проводимости, способных совершить работу выхода и вылететь из металла. Опыт показывает, что при температурах металла $\sim 10^2$ К явление термоэлектронной эмиссии становится интенсивным. В результате термоэлектронной эмиссии возникает **термоэлектронный ток**.

Это явление можно показать на следующем опыте: в стеклянной трубке (рис. 10.7), в которую впаяны два электрода — катод K и анод A , создается высокий вакуум для того, чтобы электроны при своем движении в трубке не сталкивались с частицами газа, а катод не окислялся. Катод из исследуемого металла нагревается током от батареи нака-

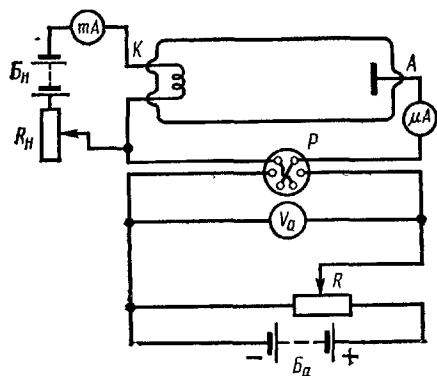


Рис. 10.7

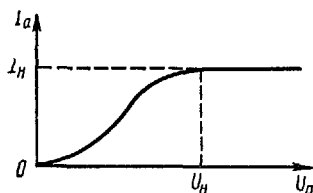


Рис. 10.8

ла B_n . Сила тока в цепи накала регулируется резистором R_n . С помощью потенциметрической схемы, состоящей из батареи элементов B_a и потенциометра R , между анодом и катодом создается анодное напряжение U_a , измеряемое вольтметром V_a . Переключатель P служит для перемены знака напряжения между электродами K и A . Термоэлектронный ток измеряется микроамперметром μA .

Из опытов следует, что сила термоэлектронного тока I_a зависит от созданного между электродами напряжения U_a , температуры катода и материала, из которого он сделан.

2. На рис. 10.8 показана зависимость термоэлектронного тока I_a от анодного напряжения U_a при постоянной температуре катода. При небольших анодных напряжениях сила тока I_a вначале медленно растет с повышением напряжения. Это объясняется тем, что при малых значениях U_a не все электроны, испускаемые катодом, достигают анода. Часть электронов образует между катодом и анодом электронное облако (пространственный заряд), которое препятствует движению к аноду вновь вылетающих из катода электронов. С увеличением напряжения U_a электронное облако постепенно рассеивается и ток I_a растет. При $U_a = U_n$ рост тока прекращается. Это связано с тем, что число электронов, достигающих анода за единицу времени, становится равным числу электронов, вылетающих за это же время из катода. Максимальный термоэлектронный ток, возможный при данной температуре катода, называется **током насыщения** I_n .

Зависимость термоэлектронного тока от анодного напряжения,

когда $U_a \ll U_H$, описывается формулой **Богуславского—Ленгмюра** («закон трех вторых»):

$$I_a = BU_a^{3/2}, \quad (10.7)$$

где B — коэффициент, зависящий от формы электродов и их взаимного расположения.

Термоэлектронный ток в анодной цепи прекращается, если с помощью переключателя P (рис. 10.7) переменить знак напряжения U_a и «запереть» катод¹. Это означает, что в электронной трубке наблюдается односторонняя проводимость.

3. Если при данной температуре за единицу времени катодом испускается N электронов, то сила тока насыщения

$$I_H = Ne.$$

Из опытов следует, что ток насыщения растет с повышением температуры катода. Предполагая, что электроны в металле подчиняются квантовой статистике (см. § 13.1), можно показать, что плотность тока насыщения j_H вычисляется по формуле, известной под названием формулы **Ричардсона—Дешмена**:

$$j_H = B'T^2 e^{-A/kT}, \quad (10.8)$$

где A — работа выхода электрона из металла, T — абсолютная температура катода, B' — эмиссионная постоянная, зависящая от материала катода и состояния его поверхности. Из формулы (10.8), хорошо согласующейся с опытом, следует, что j_H быстро растет при нагревании катода, т.е. с увеличением тока накала. Для получения большего тока насыщения применяют катоды из материалов с возможно меньшей работой выхода электрона. Исследования показали, что работа выхода электрона из оксидированных (покрытых окислами щелочноземельных металлов) и торированных (вольфрамовых, покрытых мономолекулярным слоем тория) катодов значительно меньше, чем работа выхода электрона из чистых поверхностей металла. Например, торированный катод ($W + Th$) дает при 1700 °С ток насыщения в 3000 раз больший, чем чистый вольфрам при 2500 °С.

В настоящее время кроме торированных катодов применяются бариевые ($W + Ba$), цезиевые ($W + Cs$ или окисленный $W + CsO$) и др.

4. Расположив вблизи от катода K анод A с небольшим отверстием, можно получить узкий пучок электронов — **электронный**, или **катодный луч**, легко обнаруживаемый по свечению, которое он вызывает, попадая на экран, покрытый сернистым цинком.

В электрическом поле между катодом и анодом электрон ускоряется, приобретая кинетическую энергию, равную

$$\frac{1}{2} mv^2 = eU_a. \quad (10.9)$$

¹ Строго говоря, очень слабый термоэлектронный ток наблюдается при $U_a = 0$ и даже при небольших отрицательных значениях U_a . Это связано с тем, что некоторые термоэлектроны, вылетев из катода, имеют еще запас кинетической энергии, достаточной для их «прорыва» через слабое задерживающее электрическое поле.

Для получения достаточно быстрых электронов применяют два последовательно расположенных анода. Ускорение электронов пучка в электрическом поле между катодом и кольцевыми анодами используют в высоковольтных линейных ускорителях (см. § 18.5).

5. Явление термоэлектронной эмиссии лежит в основе работы электронных ламп, которые рассмотрены в гл. XXII, а также

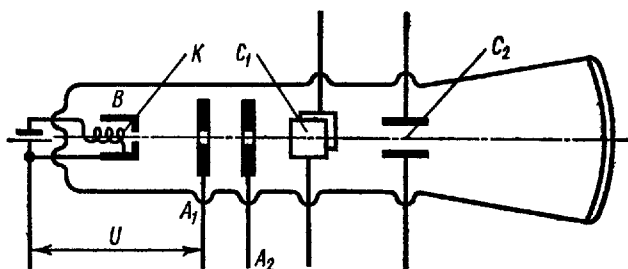


Рис. 10.9

ряда других приборов. Остановимся на принципе действия электронного осциллографа (рис. 10.9).

Электронный луч, вышедший из катода, проходит через цилиндрический направляющий электрод B и далее через аноды A_1 и A_2 . Затем электроны движутся через плоские конденсаторы C_1 и C_2 , расположенные перпендикулярно друг другу. На первый конденсатор накладывается известное переменное напряжение, на второй — исследуемое переменное напряжение. Электронный луч, периодически отклоняясь в полях конденсаторов в двух взаимно перпендикулярных направлениях, выписывает на люминесцирующем экране осциллограмму в виде фигур Лиссажу (см. т. I, § 8.4).

Обычно на первый конденсатор подается напряжение, периодически изменяющееся со временем по «пилообразному» закону (рис. 10.10). Отклонение электронного луча в горизонтальном направлении (в конденсаторе C_1) пропорционально напряжению, изменяющемуся в



Рис. 10.10

свою очередь пропорционально времени. Таким образом, отклонениями электронного луча в горизонтальном направлении изображаются промежутки времени. Смещения электронного луча в вертикальном направлении в конденсаторе C_2 пропорциональны исследуемому напряжению. В результате светящийся след вычерчивает на экране осциллографа график изменения во времени изучаемого напряжения — его «временную развертку». Весьма малая инерция электронного луча позволяет изучать таким методом электрические процессы, протекающие за очень короткие промежутки времени порядка 10^{-7} с.