

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
КУРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Общая физика»

**ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ  
В МЕТАЛЛАХ И ПОЛУПРОВОДНИКАХ**

Методические указания

к выполнению лабораторной работы **№ 47**

для студентов направлений 150200, 280000, 40000, 190600, 220300, 200000,  
190200, 151000, 190600, 050501, 260600, 080000, 190700, 20000,  
специальностей 150202, 280100, 140211, 190601, 190603, 220301,  
200503, 190201, 190202, 151001, 151002, 190601, 260601, 080502, 190702, 220200

Курган 2011

Кафедра: «Общая физика»

Дисциплина: «Физика» для студентов направлений 150200, 280000, 140000, 190600, 220300, 200000, 190200, 151000, 190600, 050501, 260600, 080000, 190700, 220000, специальностей 150202, 280100, 140211, 190601, 190603, 220301, 200503, 190201, 190202, 151001, 151002, 190601, 260601, 080502, 190702, 220200.

Составила: канд. физ.-мат.наук, доцент Т.Н. Новгородова

Утверждены на заседании кафедры «28» апреля 2011 г.

Рекомендованы методическим советом университета «19» мая 2011 г.

## ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

1. Экспериментальная установка для исследования эффекта Пельтье.
2. Вольтметр:  $U_{пр.} =$  ,  $C_0 =$  , Кл.точн. = .
3. Амперметр:  $I_{пр.} =$  ,  $C_0 =$  , Кл.точн. = .
4. Милливольтметр:  $U_{пр.} =$  ,  $C_0 =$  , Кл.точн. = .
5. Магазин сопротивлений.
6. Реостат.
7. Источники питания постоянного тока.

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

1. Изучение термоэлектрических эффектов в полупроводниках.
2. Экспериментальное определение коэффициентов термо-э.д.с. полупроводников р- и n-типа.
3. Экспериментальное определение коэффициента Пельтье полупроводникового термоэлемента.

## 1. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Термоэлектрические явления, к которым относят эффекты Зеебека и Пельтье наблюдаются при контакте разнородных металлов или полупроводников с различным типом проводимости. Эти явления во многом обусловлены процессами, происходящими вблизи контактов, поэтому, сначала рассмотрим так называемые контактные явления.

### 1.1. Контактная разность потенциалов

При соприкосновении двух проводников электроны вследствие теплового движения переходят из одного проводника в другой. Если соприкасающиеся проводники различны или их температура неодинакова, то потоки электронов из одного проводника в другой также будут неодинаковы. Следовательно, один из проводников зарядится отрицательно, а другой – положительно. Поэтому внутри проводников и во внешнем пространстве между проводниками появится электрическое поле. В состоянии равновесия внутри проводников устанавливается такое поле, которое компенсирует разность потоков электронов.

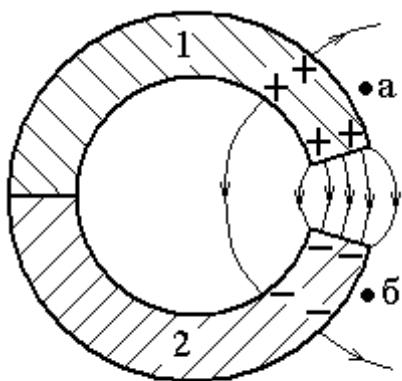


Рис.1.

Рассмотрим два различных проводника 1 и 2, находящиеся в электрическом контакте (рис.1). Температуру проводников будем считать сначала одинаковой. Согласно сказанному выше на обоих проводниках появляются электрические заряды, а между свободными их концами возникает электрическое поле, линии напряженности которого показаны на рис.1.

Разность потенциалов между любыми двумя точками  $a$  и  $b$  (рис.1), находящимися вне проводников, но расположенными в непосредственной близости от их поверхностей, называется **внешней контактной разностью потенциалов** или просто **контактной разностью потенциалов**:  $U_{12} = U_1 - U_2$ , где  $U_1$  – потенциал вблизи проводника 1 (в точке  $a$ ),  $U_2$  – потенциал вблизи проводника 2 (в точке  $b$ ).

По закону Ома плотность тока внутри однородного проводника равна  $j = \gamma \cdot E$ . Если температура в каждой точке проводника одинакова и рассматриваемая нами цепь разомкнута (при этом плотность тока  $j=0$ ), то напряженность электрического поля ( $E$ ) в любой точке внутри каждого проводника равна нулю, а потенциал внутри него постоянен. Отсюда следует, что **электрическое поле внутри проводников может существовать только в тонких пограничных слоях** на границах проводник 1 – проводник 2 или проводник 1(или 2) – вакуум. Потенциал на этих границах должен испытывать скачкообразное изменение.

Разность потенциалов  $U'_{12} = \phi_1 - \phi_2$ , где  $\phi_1$  - потенциал внутри проводника 1, а  $\phi_2$  - внутри проводника 2, называют **внутренней контактной разностью потенциалов** или **контактным скачком потенциала**.

Если имеется цепь, состоящая не из двух, а из нескольких металлов, то оказывается, что внешняя контактная разность потенциалов определяется только крайними металлами цепи.

Происхождение контактной разности потенциалов становится особенно наглядным при рассмотрении энергетических диаграмм обоих проводников.

Рассмотрим процессы, происходящие при соединении двух различных металлов, находящихся при температуре абсолютного нуля. Их энергетические диаграммы до соприкосновения изображены на рис.2,а.

Положительные ионы, образующие решетку металла, создают внутри него электрическое поле с положительным потенциалом. Электрон, находящийся в таком поле, обладает отрицательной потенциальной энергией, т.е. металл является для электрона потенциальной ямой, выход из которой требует совершения работы. Если бы электроны в металле не обладали кинетической энергией, то для их освобождения требовалась бы работа, равная глубине по-

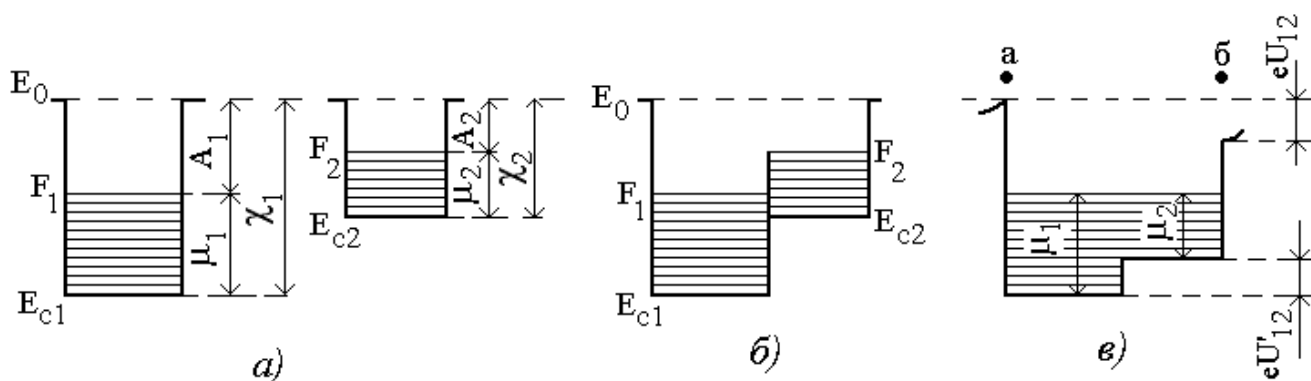


Рис. 2.

тенциальной ямы ( $E_c$  – энергия дна зоны проводимости). Однако даже при абсолютном нуле электроны обладают кинетической энергией, заполняя все нижние энергетические уровни потенциальной ямы вплоть до уровня Ферми ( $F$ ). **Энергией Ферми** называется максимальная кинетическая энергия, которую могут иметь электроны проводимости в металле при 0К.

В изолированном состоянии электронный газ в этих металлах характеризуется химическими потенциалами  $\mu_1$  и  $\mu_2$ , значения которых при  $T=0K$  совпадают с энергией Ферми электронов в металле. Наименьшая работа, совершаемая при удалении электронов, располагающихся на уровне Ферми, называется **термоэлектронной работой выхода**. Работы выхода обоих металлов:  $A_1 = E_0 - F_1 = \chi_1 - \mu_1$ ;  $A_2 = E_0 - F_2 = \chi_2 - \mu_2$  также показаны на рисунке 2,а. На нем  $E_0$  – энергия покоящегося электрона в вакууме,  $E_{c1}$  и  $E_{c2}$  – энергии дна зоны проводимости,  $\chi_1 = E_0 - E_{c1}$  и  $\chi_2 = E_0 - E_{c2}$  – глубина потенциальных ям,  $F_1$  и  $F_2$  – уровни Ферми в каждом из металлов.

После соприкосновения металлов потенциальный барьер, созданный вакуумным промежутком, исчезнет, и распределение энергий должно было бы иметь вид, показанный на рис.2,б. Однако при этом электронные газы в обоих металлах не будут находиться в равновесии. Электроны из металла 2 начнут переходить в металл 1; последний при этом будет заряжаться отрицательно, а металл 2 – положительно. Поэтому в металле 1 потенциальная энергия электронов, т.е. дно зоны проводимости (и вся потенциальная яма целиком), будет повышаться, а в металле 2 – понижаться. Так как величины  $\chi$  и  $\mu$  характеризуют вещества и не зависят от того, заряжено тело или нет, то и уровни энергии  $F$  и  $E_0$  для металла 2 будут понижаться относительно их значений для металла 1. Электрический ток прекратится тогда, когда уровни Ферми  $F_1$  и  $F_2$  в обоих металлах окажутся равными друг другу (рис.2,в). Это утверждение справедливо и в общем случае, т. е. при любой температуре, как для металлов, так и для полупроводников. *При равновесии проводников, способных обмениваться электронами, и находящихся при одинаковой температуре, уровни Ферми в этих проводниках одинаковы.*

При установившемся электронном равновесии края обеих потенциальных ям уже не находятся на одинаковом уровне, а значит, потенциальная энергия электрона  $-eU_1$  у поверхности металла 1 (точка а) не равна  $-eU_2$  у поверхности металла 2 (точка б) (рис.2,в). Их разность:

$$-eU_1 - (-eU_2) = A_1 - A_2.$$

Так как  $U_{12} = U_1 - U_2$  есть контактная разность потенциалов, то отсюда получим:

$$U_{12} = \frac{A_2 - A_1}{e}, \quad (1)$$

т.е. контактная разность потенциалов непосредственно связана с термоэлектронными работами выхода контактирующих тел. Это соотношение справедливо как для металлов, так и для полупроводников.

Из рис.2, в также видно, что после установления равновесия дно потенциальной ямы имеет ступенчатый вид. Это показывает, что при переходе через контактный слой внутри металлов потенциальная энергия электрона изменяется. При этом контактный скачок потенциала  $U'_{12}$  определяется разностью химических потенциалов электронов в контактирующих телах:

$$U'_{12} = \frac{\mu_1 - \mu_2}{e}. \quad (2)$$

## 1.2. Эффект Зеебека

Рассмотрим цепь, показанную на рис.3 и состоящую из двух разных проводников 1 и 2. Будем считать для простоты, что соединительные провода, ведущие к вольтметру, сделаны также из проводника 1, так что скачки потенциала в контактах  $A$  и  $D$  не возникают.

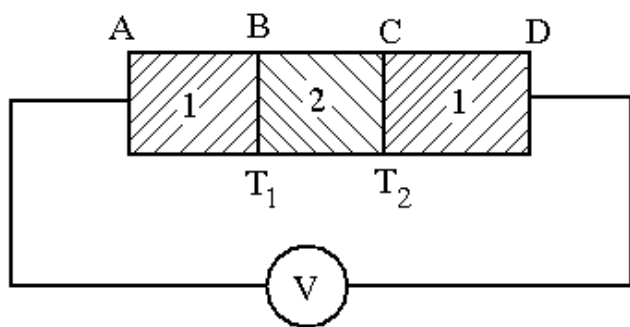


Рис. 3.

Если температура всей цепи одинакова, то распределение потенциала в цепи будет иметь вид, показанный на рис.4,а. Скачки потенциала в контактах  $B$  и  $C$  равны по модулю, но противоположны по знаку, поэтому результирующая э.д.с. равна нулю. Это справедливо для любого числа проводников: *электродвижущая сила цепи, составленной из любого числа провод-*

*ников, находящихся при одинаковой температуре, равна нулю.*

Однако если температура контактов  $B$  и  $C$  неодинакова, то полная э.д.с. цепи уже не равна нулю, и при замыкании цепи в ней появляется ток. Это явление было открыто Зеебеком в 1821 году и получило название термоэлектричества или явления (эффекта) Зеебека.

**Явление Зеебека** заключается в возникновении э.д.с. в цепи, состоящей из двух разнородных металлов (полупроводников), спаи (контакты) которых имеют различную температуру. Возникающая при этом э.д.с. называется **термо-электродвижущей силой** или **термо-э.д.с.**

Возникновение термо-э.д.с. обусловлено, как минимум, двумя причинами:

- 1) диффузией электронов (объемная составляющая термо-э.д.с.);
- 2) зависимостью уровня химического потенциала от температуры (контактная составляющая термо-э.д.с.).

*Объемная составляющая термо-э.д.с. возникает* в проводнике при наличии в нем градиента температуры. Предположим, что в цепи, показанной на рис.3, температура  $T_1$  контакта  $B$  выше температуры  $T_2$  контакта  $C$  (при этом контакты  $A$  и  $D$  находятся при температуре  $T_2$ ). Так как тепловые скорости электронов вблизи контакта  $B$  больше, чем вблизи контакта  $C$ , то в проводнике 2 возникнет поток диффузии электронов, направленный от  $B$  к  $C$ . Поэтому в проводнике 2 (на его поверхности) возникнут электрические заряды, и внутри

проводника образуется электрическое поле такой величины, чтобы в установившемся состоянии вызываемый этим полем ток дрейфа компенсировал ток диффузии. Следовательно, при наличии в проводнике градиента температуры в нем возникает и градиент электрического потенциала. Сказанное полностью относится и к проводнику 1.

В случае полупроводников, в которых концентрация электронов увеличивается при повышении температуры, появится еще и дополнительный диффузионный поток того же направления, вызванный различием концентраций электронов в горячем и холодном концах полупроводника.

Возникновение контактной составляющей термо-э.д.с. связано с тем, что контактные скачки потенциала  $U'_{12}$  и  $U'_{21}$  будут различны вследствие разных температур контактов  $B$  и  $C$ . Действительно, согласно формуле (2) контактный скачок потенциала определяется разностью химических потенциалов контактирующих проводников. В свою очередь, уровень химического потенциала проводника зависит от температуры. Следовательно, если температуры контактов  $B$  и  $C$  различны, то сумма контактных скачков потенциала уже не будет равна нулю.

Распределение потенциала в цепи при неравенстве температур контактов показано на рис. 4,б. Напряжение  $V$ , регистрируемое вольтметром и равное термо-э.д.с., складывается из падения напряжения в объеме проводника и скачков потенциала в контактах.

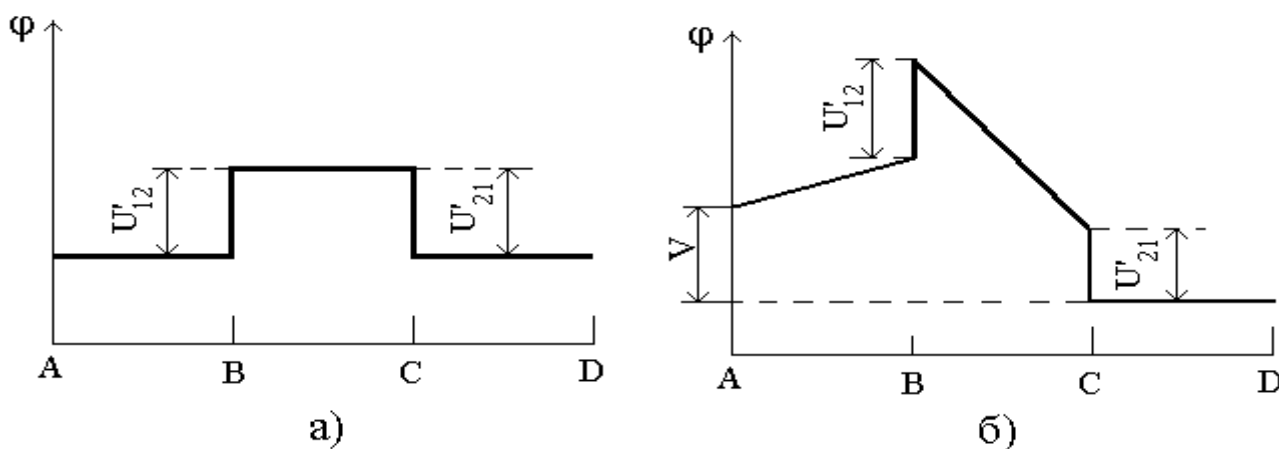


Рис. 4.

Термо-э.д.с. цепи, состоящей из двух различных проводников 1 и 2 при малой разности температур  $\Delta T$  между обоими контактами (спаями) выражается формулой:

$$\varepsilon = (\alpha_1 - \alpha_2)\Delta T, \quad (3)$$

где  $\alpha_1$  зависит от природы проводника 1, а  $\alpha_2$  - от природы проводника 2. Эти величины зависят также от температуры.

Величина  $\alpha = \frac{d\varepsilon}{dT}$  называется **дифференциальной термо-э.д.с.** данного вещества. Она равна термо-э.д.с., возникающей в данном проводнике при разности температур между его концами в 1К.

В общем случае при значительной разности температур обоих спаев термо-э.д.с. равна:

$$\varepsilon = \int_{T_1}^{T_2} (\alpha_1 - \alpha_2) dT. \quad (4)$$

Если в данном температурном интервале  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  изменяются слабо, вместо формулы (4) получим:

$$\varepsilon = \alpha_{12}(T_2 - T_1), \quad (5)$$

где  $\alpha_{12} = \alpha_1 - \alpha_2$  дифференциальная термо-э.д.с. данной пары проводников (полупроводников).

Коэффициенту термо-э.д.с. (дифференциальной термо-э.д.с.) приписывают определенный знак. *Величина  $\alpha$  считается положительной, если возникающий в проводнике термоток течет от горячего конца к холодному.*

Явление Зеебека широко используется для измерения разности температур. Соответствующее устройство называется термопарой. Один спай термопары поддерживают при постоянной температуре (например, при  $0^{\circ}\text{C}$ ), другой помещают в ту среду, температуру которой хотят измерить. О разности температур между спаями судят по величине термо-э.д.с. С помощью термопар можно измерять как низкие, так и высокие температуры с точностью порядка сотых долей градуса.

В качестве источников тока термопары из металлов не используются вследствие низкого к.п.д. Термопары из полупроводниковых материалов, имеющих значительно большие дифференциальные термо-э.д.с., используют в генераторах для прямого преобразования тепловой энергии в электрическую.

### 1.3. Эффект Пельтье

Рассмотрим протекание тока через контакт двух различных металлов или полупроводников. Опыт показывает, что в зависимости от направления тока контакт при этом либо нагревается, либо охлаждается. Это явление, заключающееся в выделении или поглощении тепла при протекании тока через контакт двух различных проводников (или полупроводников) получило название **эффекта Пельтье**.

Тепло  $Q_{\text{П}}$ , выделившееся или поглощенное в спае, пропорционально полному заряду  $q$ , прошедшему через спай:

$$Q_{\text{П}} = \Pi_{12} \cdot q = \Pi_{12} \cdot I \cdot t. \quad (6)$$

Коэффициент  $\Pi_{12}$  зависит от рода соприкасающихся проводников и от их температуры и называется **коэффициентом Пельтье**.



Коэффициент Пельтье для большинства пар металлов имеет величину порядка  $10^{-2} - 10^{-3}$  В. Для полупроводников коэффициент Пельтье, также как и дифференциальная термо-э.д.с., в несколько раз больше.

Коэффициент Пельтье и дифференциальная термо-э.д.с. связаны соотношением:

$$P_{12} = \alpha_{12} T. \quad (7)$$

Происхождение тепла Пельтье объясняется следующим образом. Каждый электрон, участвующий в создании тока, переносит не только заряд, но и энергию. Носители тока по разные стороны от спаев (в разных проводниках) имеют разные средние кинетические энергии. Если носители, проходя через спай, попадают в область с меньшей энергией, они отдают избыток энергии кристаллической решетке и спай нагревается. При противоположном направлении тока носители попадают в область с большей энергией, при этом недостающую энергию они заимствуют у решетки и спай охлаждается.

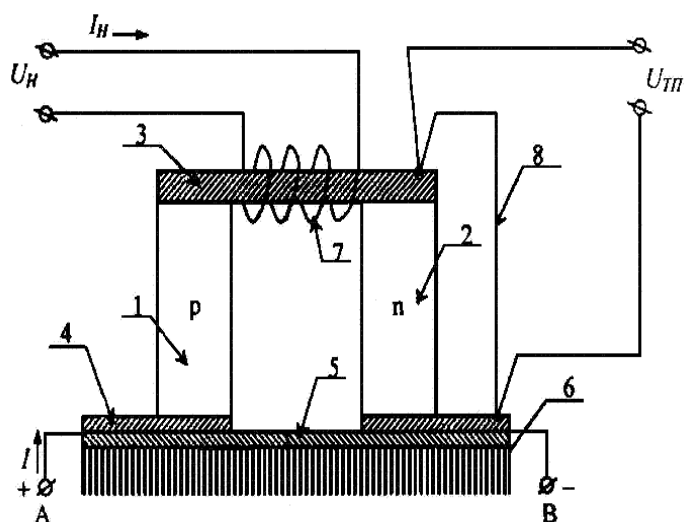
В случае контакта двух полупроводников с различным типом проводимости при прямом включении электроны и дырки движутся навстречу друг другу. В области контакта происходит рекомбинация, в результате выделяется энергия – спай нагревается. При противоположном направлении тока (обратное включение) электрическое поле, созданное внешним источником тока, оттягивает электроны и дырки от области контакта. Убыль носителей тока в пограничной области восполняется за счет рождения пар электрон-дырка. На рождение пары затрачивается энергия, которая заимствуется у решетки, следовательно, спай охлаждается.

Эффект Пельтье используется в термоэлектрических охладителях, позволяющих при достаточно малых габаритах устройств получить разность температур между спаями до 100К от комнатной температуры. Рабочим элементом таких устройств является батарея из чередующихся полупроводников р- и n-типа.

## 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Схема установки для исследования термоэлектрических явлений в полупроводниках приведена на рис.5. Термоэлемент из полупроводников р- и n-типа смонтирован на массивном металлическом основании, от которого электрически изолирован. Верхний спай термоэлемента соединен металлической пластиной, на которой намотан нагреватель. Разность температур верхнего и нижнего спаев термоэлемента измеряется с помощью дифференциальной термопары.

Данная установка позволяет проводить измерения 1) коэффициента термо-э.д.с. полупроводниковых материалов р- и n-типа и всего элемента; 2) коэффициента Пельтье.



- 1 – образец р – типа;
- 2 – образец n – типа;
- 3 – медная пластина;
- 4 – проводящие контакты;
- 5 – электроизоляционный слой;
- 6 – теплоотводящий радиатор;
- 7 – нагреватель;
- 8 – дифференциальная термопара.

Рис. 5.

1. Для определения коэффициента термо-э.д.с. необходимо нагреть верхний спай термоэлемента с помощью нагревателя 7. Разность температур между верхним и нижним спаями определяется дифференциальной медь-константановой термопарой. Э.д.с. термопары ( $U_{\text{ТП}}$ ) измеряется милливольтметром. Тогда разность температур между верхним и нижним спаями

$$\Delta T = \frac{U_{\text{ТП}}}{\alpha_{\text{ТП}}}, \quad (8)$$

где  $\alpha_{\text{ТП}} = 0,132 \text{ мВ/К}$  – дифференциальная термо-э.д.с. термопары.

При установившейся разности температур (включенном нагревателе) между клеммами 1-2, 2-3 и 1-3 установки создается разность потенциалов, соответствующая термо-э.д.с.:

$$\text{полупроводника n-типа} \quad U_{12} = \varepsilon_n = \alpha_n \Delta T; \quad (9)$$

$$\text{полупроводника p-типа} \quad U_{23} = \varepsilon_p = \alpha_p \Delta T; \quad (10)$$

$$\text{всего термоэлемента} \quad U_{13} = \varepsilon = \alpha \Delta T. \quad (11)$$

Таким образом, измерив соответствующие разности потенциалов и используя формулы (9 - 11), можно рассчитать коэффициенты термо-э.д.с. материалов и всего элемента.

2. При пропускании через термоэлемент тока определенного направления верхний спай будет охлаждаться вследствие эффекта Пельтье. Количество теплоты Пельтье  $Q_{\text{П}}$ , поглощенное в верхнем спае элемента, можно компенсировать с помощью тепла  $Q_{\text{н}}$ , выделяемого нагревателем 7. При компенсации  $Q_{\text{П}} = Q_{\text{н}}$  разность температур между спаями  $\Delta T = 0$ .

Так как  $Q_{\text{П}} = \Pi \cdot I \cdot t$ , а  $Q_{\text{н}} = I_{\text{н}} \cdot U_{\text{н}} \cdot t$ , легко получить формулу, позволяющую рассчитать коэффициент Пельтье термоэлемента:

$$\Pi = \frac{I_{\text{н}} \cdot U_{\text{н}}}{I}, \quad (12)$$

где  $I$  – сила тока, текущего через термоэлемент,  $I_n$  и  $U_n$  – сила тока и напряжение нагревателя при условии полной компенсации тепловых потоков ( $\Delta T = 0$ ).

### 3. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

#### Задание 1. Определение коэффициентов термо-э.д.с.

1. Собрать схему (рис.6).
2. Включить питание нагревателя. С помощью реостата (или магазина сопротивлений) установить ток нагревателя 35-40 мА.

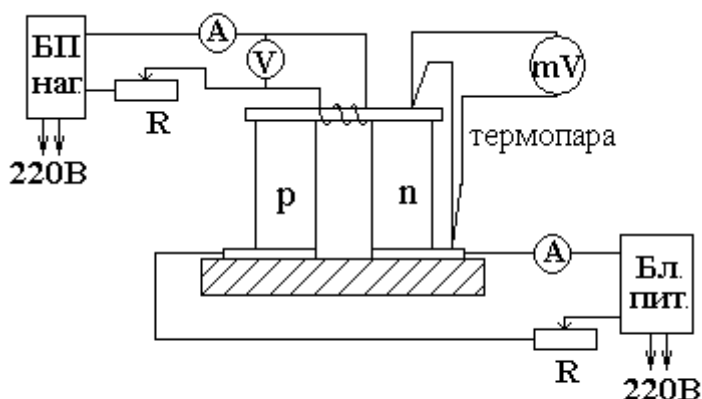


Рис. 6.

3. Выждав 5-7 мин. и убедившись, что разность температур не изменяется ( $U_{тп} = \text{const}$ ), провести измерения разности потенциалов на термопаре ( $U_{тп}$ ), между клеммами 1 и 2 ( $U_{12}$ ), 2 и 3 ( $U_{23}$ ), 1 и 3 ( $U_{13}$ ). Результаты занести в таблицу.
4. Повторить измерения п.3 при двух других значениях тока нагревателя в диапазонах 40-50 мА и 50-60 мА.
5. По формуле (8) рассчитать разности температур. Результаты занести в табл. 1.
6. Используя формулы (9)–(11), найти коэффициенты термо-э.д.с.  $\alpha_n, \alpha_p, \alpha$ .
7. Проверить соотношение:  $\alpha = \alpha_p + |\alpha_n|$ .

Таблица 1

| № | $U_{тп}$ , мВ | $U_{12}$ , мВ | $U_{23}$ , мВ | $U_{13}$ , мВ | $\Delta T$ , К | $\alpha_n$ , мВ/К | $\alpha_p$ , мВ/К | $\alpha$ , мВ/К | $\alpha_p +  \alpha_n $ , мВ/К |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|-------------------|-------------------|-----------------|--------------------------------|
| 1 |               |               |               |               |                |                   |                   |                 |                                |
| 2 |               |               |               |               |                |                   |                   |                 |                                |
| 3 |               |               |               |               |                |                   |                   |                 |                                |

## Задание 2. Определение коэффициента Пельтье

1. Включить питание нагревателя. С помощью реостата (или магазина сопротивлений) установить ток нагревателя 50-60 мА.
2. Выждав 5-7 мин и убедившись, что разность температур не изменяется, включить блок питания термоэлемента. Установить ток  $I$  не менее 1 А.
3. Наблюдать уменьшение разности температур в результате поглощения тепла Пельтье в верхнем спае. Меняя ток нагревателя, добиться равенства температур горячего и холодного спаев. При этом  $U_{\text{тп}}=0$ .
4. Записать значения силы тока  $I$ , текущего через термоэлемент,  $I_{\text{н}}$  – силы тока в нагревателе,  $U_{\text{н}}$  – напряжения на клеммах нагревателя при условии  $U_{\text{тп}}=0$ .

$I =$  ;  $I_{\text{н}} =$  ;  $U_{\text{н}} =$  .

5. По формуле (12) рассчитать значение коэффициента Пельтье.
6. Сделать вывод о работе.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дать объяснение механизма возникновения контактной разности потенциалов.
2. Что называется внешней и внутренней контактной разностью потенциалов, чему они равны, от чего зависят?
3. В чем заключается эффект Зеебека? Что такое дифференциальная термо-э.д.с.?
4. Дать объяснения механизмов возникновения термо-э.д.с.
5. В чем заключается эффект Пельтье? Чему равна теплота Пельтье?
6. Как связаны коэффициент Пельтье и дифференциальная термо-э.д.с.?
7. За счет чего происходит охлаждение (нагревание) контакта двух полупроводников при протекании тока через термоэлемент?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трофимова Т.И. Курс физики. - М.: Высшая школа, 2003.
2. Детлаф А.А. Яворский Б.М. Курс физики. - М.: Изд.центр «Академия», 2003.
3. Епифанов Б.И. Физика твердого тела. - М.: Высшая школа, 1977.
4. Савельев И.В. Курс общей физики. - М.: Наука, 1989. - Т.3.

НОВГОРОДОВА ТАТЬЯНА НАЗАРОВНА

**ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ  
В МЕТАЛЛАХ И ПОЛУПРОВОДНИКАХ**

Методические указания к выполнению лабораторной работы № 47  
для студентов направлений 150200, 280000,  
40000, 190600, 220300, 200000, 190200, 151000,  
190600, 050501, 260600, 080000, 190700, 20000,  
специальностей 150202, 280100, 140211, 190601, 190603, 220301,  
200503, 190201, 190202, 151001, 151002, 190601, 260601, 080502, 190702, 220200

Редактор Е.А.Устюгова

---

|                    |                   |                 |
|--------------------|-------------------|-----------------|
| Подписано к печати | Формат 60x84 1/16 | Бумага тип. № 1 |
| Печать трафаретная | Усл.печ.л. 0,75   | Уч.-изд. л.0,75 |
| Заказ              | Тираж    э/в      | Цена свободная  |

---

Редакционно-издательский центр КГУ.  
640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25.  
Курганский государственный университет.