

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Емельянов Сергей Геннадьевич
Должность: ректор
Дата подписания: 25.09.2022 14:42:02
Уникальный программный ключ:
9ba7d3e34c012eba476ffd2d064cf2781953be730df2374d16f3c0ce536f0fc6

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра нанотехнологий, общей и прикладной физики



ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТА ТЕРМОЭЛЕКТРОДВИЖУЩЕЙ СИЛЫ

Методические указания к лабораторной работе № 45 по разделу «Электричество и магнетизм» для студентов направлений подготовки 28.03.01. «Нанотехнологии и микросистемная техника», 03.03.02 «Физика», 04.03.01. «Химия», 18.03.01. «Химическая технология»

Курск – 2019

УДК 537.32

Составители: Н.М. Игнатенко, В.В.Сучилкин

Рецензент

Кандидат физико-математических наук, доцент *А.Е. Кузько*

Изучение эффекта термоэлектродвижущей силы [Текст]: Методические указания к лабораторной работе №45 по разделу «Электричество и магнетизм». Для студентов направлений подготовки 28.03.01. «Нанотехнологии и микросистемная техника», 03.03.02 «Физика», 04.03.01. «Химия», 18.03.01. «Химическая технология / Юго-Зап.. гос. ун-т; сост.: В.М. Пауков, В.В. Сучилкин. Курск, 2019. 11 с., рис. 4, табл.1. Библиогр.: с. 10

Содержит сведения о причинах возникновения термоэлектродвижущей силы. Излагаются методические рекомендации для измерения термоэлектродвижущей силы и определения постоянной хромель-алюмелевой термопары с мультиметра. Указывается порядок выполнения работы.

Методические указания соответствуют требованиям Федеральных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС), Федерального компонента цикла общих математических и естественнонаучных дисциплин, а также рабочим учебным планам и рабочим программам по курсам разделов общей физики всех инженерно-технических специальностей (направлений) подготовки ЮЗГУ.

Для студентов направлений подготовки 28.03.01. «Нанотехнологии и микросистемная техника», 03.03.02 «Физика», 04.03.01. «Химия», 18.03.01. «Химическая технология»

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 24.01.19. Формат 60×84 1/16.

Усл.печ.л. 0,5. Уч.-изд.л. 0,4 Тираж 100 экз. Заказ 31. Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040 Курск, ул. 50 лет Октября, 94

Лабораторная работа № 45

Изучение термоэлектродвижущей силы

Цель работы: 1. Изучить устройство и принцип действия термоэлемента.

2. Определить коэффициент термоэлектродвижущей силы (постоянную термопары).

Приборы и принадлежности: Термопара хромель-алюмелевая, электроплитка, два сосуда с водой, термометр, мультиметр.

Краткая теория

Сущность явления термо-Э.Д.С. состоит в том, что в замкнутой цепи, составленной из разных металлов, возникает электрический ток, если места контактов поддерживаются при различной температуре (см. рис.1). Такая цепь носит название термоэлемента или термопары.

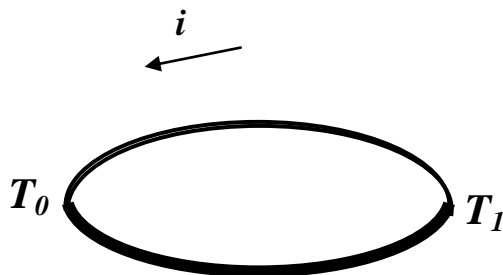


Рис. 1 Цепь термоэлемента

Для небольших интервалов температур величина термо-Э.Д.С. \mathcal{E} пропорциональна разности температур контактов T_0 и T_1 : где $\alpha_{1,2}$ - коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом термопары

$$\mathcal{E} = \alpha_{1,2}(T_1 - T_2) \quad (1)$$

Его величина определяется в основном металлами, составляющими термопару, и слабо изменяется с температурой. Для металлов $\alpha_{1,2} = 3 \times 10^{-6} \div 2 \times 10^{-5}$ В/К, для полупроводников $\alpha_{1,2} = 10^{-4} \div 5 \times 10^{-4}$ В/К.

Рассмотрим причины возникновения указанного эффекта. Каждая ветвь термопары состоит из очень большого числа частиц и представляет термодинамическую систему, находящуюся из-за градиента температуры в неравновесном состоянии. Поэтому при обсуждении следует исходить из законов физической кинетики (термодинамики неравновесных процессов).

Как показывает опыт, поток какой-либо физической величины (тепла – при теплопроводности, массы – при диффузии, заряда – при протекании тока и т.д.) определяется градиентами некоторых термодинамических величин. Роль термодинамических величин выполняют температура, электрохимический и химический потенциалы, кинетическая энергия, концентрация и т.д.

Например, дифференциальная форма закона Ома фиксирует связь между плотностью потока носителей зарядов (плотностью тока j) и напряженностью электрического поля E , равной градиенту потенциала ($-d\varphi/dl$):

$$j = \sigma E = -\sigma(d\varphi/dl),$$

где σ - удельная электропроводность.

Аналогичную форму имеет закон Фурье для плотности теплового потока q :

$$q = -\lambda(dT/dl),$$

где λ - коэффициент теплопроводности, $-\frac{dT}{dl}$ - градиент температуры.

Применим изложенные положения к неравномерно нагретому проводнику (ветви термопары). При нагреве в его горячей части средняя кинетическая энергия частиц $\langle K \rangle$ возрастет, а электрохимический потенциал μ уменьшится по отношению к холодной области (μ - электрохимический потенциал численно равный свободной энергии в расчете на один электрон). Возникшие при этом градиенты средней энергии $\langle K \rangle$ и электрохимического потенциала создадут два встречных потока электронов: градиент энергии – из горячей зоны, где скорости электронов выше, в холодную; градиент электрохимического потенциала – из холодной зоны в горячую. Возникшая при этом результирующая плотность тока будет пропорциональна разности указанных градиентов:

$$j = L(d\langle K \rangle / dl) - L(d\mu / dl), \quad (2)$$

где L - коэффициент пропорциональности (из опыта следует, что он одинаков при обоих слагаемых).

Для большинства металлов изменение электрохимического потенциала при нагреве оказывается меньше изменения энергии. Поэтому поток электронов в холодную зону будет доминировать и зарядит ее отрицательно. Это приведет к росту электрохимического потенциала в холодной зоне за счет увеличения слагаемого $e\varphi$, так как электрохимический потенциал

$$\mu = \xi + e\varphi, \quad (3)$$

где ξ - химический потенциал, e - заряд электрона, φ - потенциал электрического поля, созданного избыточными зарядами. Градиент потенциала при этом возрастает, и усиливается поток электронов в горячую зону. Когда встречные потоки электронов сравняются (стационарное состояние), между холодной и горячей частями проводника установится разность потенциалов $\Delta\varphi$.

Подстановка уравнения (3) в уравнение (2) дает для стационарного состояния ($j=0$)

$$0 = L \cdot \frac{d\langle k \rangle}{dl} - L \cdot \left(\frac{d\xi}{dl} + e \cdot \frac{d\varphi}{dl} \right) \quad (4)$$

Учитывая что $-(d\varphi/dl)=E$ из уравнения (4) получаем:

$$E = \frac{1}{e} \cdot \left(\frac{d\xi}{dl} - \frac{d\langle k \rangle}{dl} \right) \quad (5)$$

По определению э.д.с. разомкнутой цепи численно равна разности потенциалов на концах последней:

$$\varepsilon = \int_l d\varphi = \int_l -Edl = \frac{1}{e} \int_l \left(\frac{d\langle k \rangle}{dl} - \frac{d\xi}{dl} \right) \cdot dl = \frac{1}{e} \int_l (d\langle k \rangle - d\xi) \cdot \frac{dT}{dT} = \frac{1}{e} \int_{T_0}^T \left(\frac{d\langle k \rangle}{dT} - \frac{d\xi}{dT} \right) \cdot dT \quad (6)$$

Определяя дифференциальную термо-э.д.с. для однородной ветви термопары как

$$\alpha = \frac{1}{e} \cdot \left(\frac{d\langle k \rangle}{dT} - \frac{d\xi}{dT} \right)$$

получаем:

$$\mathcal{E} = \int_{T_0}^T \alpha(T) dT,$$

где $\alpha(T)$ является сложной функцией металла и температуры. Поэтому в двух ветвях термопары из разных металлов (рис. 1) возникнут два термо-э.д.с. и результирующая будет по второму правилу Кирхгофа равна алгебраической сумме \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 :

$$\mathcal{E}_{1,2} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 = \int_{T_0}^T \alpha_1 dT + \int_{T_1}^{T_0} \alpha_2 dT = \int_{T_0}^{T_1} \alpha_1 dT - \int_{T_0}^{T_1} \alpha_2 dT = \int_{T_0}^{T_1} (\alpha_1 - \alpha_2) dT \quad (7)$$

Величину $(\alpha_1 - \alpha_2)$ обозначают символом $\alpha_{1,2}$ и называют дифференциальной термо-э.д.с. термопары или коэффициент термопары. В результате уравнение (7) примет вид:

$$\mathcal{E}_{1,2} = \int_{T_0}^{T_1} \alpha_{1,2} dT \quad (8)$$

Можно подобрать такие пары металлов, для которых $\alpha_{1,2}$ будет значительной по величине и слабо зависящей от температур. В этом случае формула (8) сводится к эмпирической зависимости (1):

$$\mathcal{E}_{1,2} = \alpha_{1,2} \int_{T_0}^{T_1} dT = \alpha_{1,2} (T_1 - T_2) \quad (9)$$

Термопары удобно использовать для точного измерения температур, а термоэлементы из многих последовательно включенных ветвей (рис. 2) для получения токов до 1 А мощностью до сотен ватт.

Описание установки

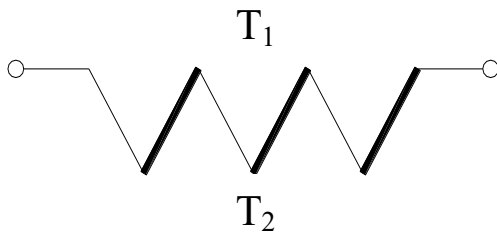


Рис. 2 Соединение термоэлементов

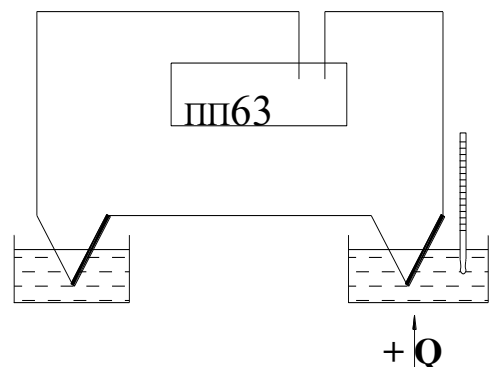


Рис.3 Схема установки

Для определения термо-э.д.с. и коэффициента термопары собирается схема, показанная на рис. 3.

Спай термопары помещаются в сосуды с водой. Один из них ставится на электроплитку. Температура спая t_1 в этом сосуде изменяется в процессе нагревания и измеряется термометром, шарик которого нужно помещать возможно ближе к спаю термопары. Температура второго спая t_0 остается постоянной и равной комнатной (измеряется термометром один раз в начале эксперимента). Так существуют различные способы измерения ЭДС термопары. Например ЭДС термопары с большой точностью измеряется потенциометром постоянного тока ПП-63.

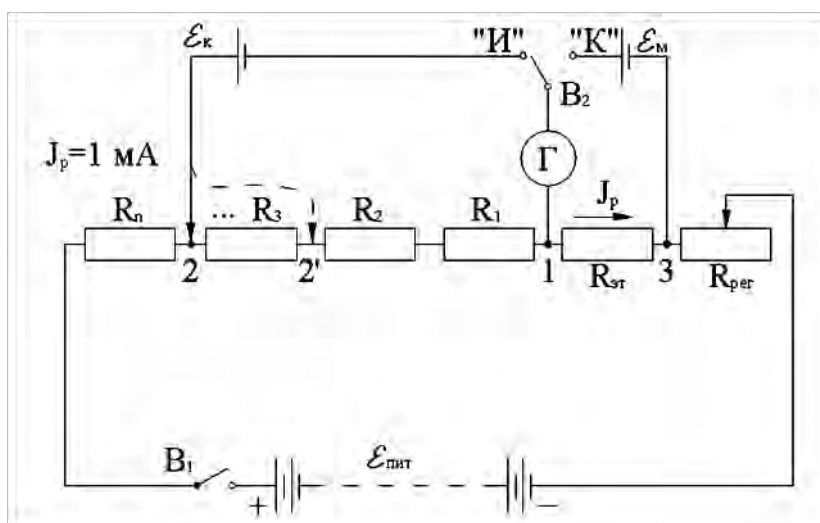


Рис. 4 Принципиальная схема установки

Потенциометр ПП-63 предназначен для измерений электродвижущих сил или разности потенциалов методом компенсации. Его устройство, в принципе, ничем не отличается от обычной компенсационной схемы с нормальным элементом Вестона в качестве эталона. На панели потенциометра смонтированы сопротивления, нуль-гальванометр и переключатель на два положения (положение “К” – для установки рабочего тока потенциометра. “И” – для измерения неизвестной э.д.с. или разности потенциалов).

Внутри корпуса размещен элемент Вестона, источники питания потенциометра, состоящие из щелочных аккумуляторов или сухих батарей (см. рис. 4).

Порядок выполнения работы

1) Устанавливают рабочий ток потенциометра. Для этого ставят выключатель B_1 в положение “Вкл”, а переключатель B_2 в положение “К”. При этом ток от источника питания $\mathcal{E}_{\text{пит}}$ проходит через известное эталонное сопротивление $R_{\text{эт}}$. Поворотом ручки “Регулятор тока” меняют сопротивление $R_{\text{рег}}$ в цепи источника тока $\mathcal{E}_{\text{пит}}$, добиваясь нулевого показания гальванометра. Э.Д.С. элемента Вестона ($\mathcal{E}_m = 1.01830 \text{ В} \pm 4.0 \cdot 10^{-5} \text{ В}$ при $t=20^\circ\text{C}$) компенсируется в этом случае разностью потенциалов, создаваемой током источника на эталонном сопротивлении $R_{\text{эт}} = 1018.3 \text{ Ом}$.

Действительно, по II правилу Кирхгофа для контура “ИКЗГ” можно составить уравнение $J_p R_{\text{эт}} = \mathcal{E}_m$ (напоминаем, что при компенсации ток в ветви “ИКЗ” не идет, о чем свидетельствуют показания гальванометра). Однако, по закону Ома $J_p R_{\text{эт}} = \Delta\phi$, где $\Delta\phi$ – разность потенциалов на резисторе $R_{\text{эт}} \Rightarrow \Delta\phi = \mathcal{E}_m$

Таким образом $J_n = \frac{\mathcal{E}_m}{R_{\text{эм}}} = \frac{1.01830}{1018.3} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ А} = 1 \text{ мА}$

2) После того, как рабочий ток установлен, переключатель B_2 ставят в позицию “И”, подключая при этом источник тока с неизвестной Э.Д.С. (в нашем случае неизвестной Э.Д.С. является Э.Д.С. термопары) параллельно измерительным декадам, составленным из известных сопротивлений в 1, 10, 100 Ом и т.д. Вращением рукояток измерительных декад изменяют сопротивление участка “1-2”, добиваясь компенсации \mathcal{E}_k разностью потенциалов на известных сопротивлениях этого участка (по участку 1-2 в момент компенсации \mathcal{E}_k течет ток $J_p = I \text{ мА}$):

$$\mathcal{E}_k = J_p R_{1-2}, \text{ где } R_{1-2} = R_1 + R_2 + \dots$$

здесь R_1 R_2 и т.д. сопротивление декад участка 1-2.

Например, для компенсации \mathcal{E}_k на участке 1-2 были включены резисторы общим сопротивлением 0.18 Ом. Тогда, из приведенных выше формул следует, что $\mathcal{E}_k = 0.18 \cdot 0.001 = 1.8 \cdot 10^{-4} \text{ В} = 0.18 \text{ мВ}$. Все это позволяет при неизменном рабочем токе $J = I \text{ мА}$ (при обоих положениях переключателя B_2 сопротивление контура “ $\mathcal{E}_{\text{пит}}$, 3, 2, $\mathcal{E}_{\text{пит}}$ ” (см. рис.4) неизменно, ибо в ветвях \mathcal{E}_k \mathcal{E}_m ток при компенсации не идет) градуировать шкалы декад, не в омах, а в милливольт-тах, вольтах и т.д. ЭДС термопары так же можно измерять мульти-

метром, который имеет большую погрешность измерения чем потенциометр.

В данной работе ЭДС термопары измеряется мультиметром.

Задания

Задание 1. Построение градуировочного графика термопары.

1. После сборки и проверки схемы включить мультиметр, убедиться предварительно, что температура в обоих сосудах одинакова.

2. Занести в таблицу значение t_0 – температуру холодного спая.

3. Установить термометр в сосуде, поставленном на электроплитку так, чтобы шарик его был возможно ближе помещен к спаю термопары.

4. Включить нагреватель и в интервале температур $20 \div 100^\circ\text{C}$ при $8 \div 10$ различных значениях температуры t_1 измерить \mathcal{E}_k .

5. Показания термометра и ММ следует снимать при уравновесившемся тепловом равновесии (когда столбик ртути термометра перестанет подниматься вверх), что достигается периодическим отключением электроплитки от сети за $2-3^\circ$ до намеченной температуры на одну-две минуты.

6. Результат измерения занести в таблицу.

7. Построить по данным эксперимента градуировочный график термопары $\varepsilon_x = f(T)$ в координатах " $\varepsilon_x - T$ ".

Таблица 1. Результаты измерений

№ п/п	$t_0^\circ\text{C}$	$t_1^\circ\text{C}$	$(t_1-t_0)^\circ\text{C}$	\mathcal{E}_k , мВ
1				
2				
...				
10				

Задание 2. Определение постоянной термопары

1. Определить координаты центра графика ε_{xy} и t_y .

2. Вычислить приращения $t_u - t_0$, $t_{\max} - t_u$, $t_{\max} - t_0$ и отвечающие им приращения $\Delta\varepsilon_x$.

3. По формуле $\alpha_{1,2} = \Delta\varepsilon/\Delta t$ для указанных трех температурных промежутков вычислить три значения постоянной термопары.

4. Рассчитать среднее значение, абсолютную и относительную погрешности постоянной термопары.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается эффект термо-э.д.с.?
2. Выведите формулу (7).
3. Расскажите о причинах возникновения термо-э.д.с.
4. Выведите расчетную формулу для определения постоянной термопары.
5. Изложите порядок выполнения работы.
6. Расскажите о практических приложениях эффекта термо-э.д.с.

Список рекомендуемой литературы

Основной

1. Любая С.И. Физика: курс лекций [Электронный ресурс]. / С.И.Любая - Ставрополь - Ставропольский государственный аграрный университет, 2015. - 141 с.

Режим доступа [//biblioclub.ru/index.php?page=book&id=438720](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=438720)

2. Кузнецов С.И. Курс лекций по физике. Электростатика. Постоянный ток. Электромагнетизм. Колебания и волны [Электронный ресурс] : учебное пособие / С.И.Кузнецов, Л.И.Семкина, К.И.Рогозин. - Томск: - Издательство Томского политехнического университета, 2016. - 290 с.

Режим доступа [//biblioclub.ru/index.php?page=book&id=442116](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=442116)

Дополнительный

1. Кабардин, О. Ф. Физика [Текст] : справочные материалы: Учебное пособие для учащихся. Механика. Молекулярная физика. Электродинамика. Колебания и волны. Квантовая физика. Прило-

жения / О. Ф. Кабардин. - 3-е изд. - М. : Просвещение, 1991. - 367 с. : ил. - Б. ц.

2. Полунин, В. М. Физика. Основные понятия и законы [Текст] : учебно-методическое пособие / В. М. Полунин, Г. Т. Сычев. - Курск : КГТУ, 2002. - 156 с. - 40.00 р.

3. Федосеев, Владимир Борисович. Физика [Текст] : учебник / В. Б. Федосеев. - Ростов н/Д. : Феникс, 2009. - 669 с. - (Высшее образование). - ISBN 978-5-222-149 83-6 : 320.00 р.