


# МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

Кафедра физики

УТВЕРЖДАЮ  
Первый проректор –  
Проректор по учебной работе  
Е.А. Кудряшов  
«Ю» \_\_\_\_\_ 2011 г.



## ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТА ТЕРМОЭЛЕКТРОДВИЖУЩЕЙ СИЛЫ

Методические указания к выполнению лабораторной работы  
№ 45 по разделу "Электричество и магнетизм".

Курск 2012 г.

УДК 534.2

Составители: Т.И. Аксенова, М.Л. Боев

Рецензент

Доктор физ.-мат. наук, профессор *В.М. Полунин*

**Изучение эффекта термоэлектродвижущей силы:** методические указания к лабораторной работе № 45 по разделу физики «Электричество и магнетизм» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: Т.И. Аксенова, М.Л. Боев Курск. 2012. 9с. илл.3, табл.1. Библиогр.: 9с.

Работа содержит методические рекомендации для измерения термоэлектродвижущей силы и определения постоянной хромель-алюминиевой термопары с помощью мультиметра.

Методические указания соответствуют требованиям Государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (2010г.) и рабочих учебных планов технических специальностей.

Предназначены для студентов инженерно - технических специальностей всех форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать.

Формат 60 x 84 1/16.

Усл. печ. л.. Уч.-изд. л.. Тираж экз. Заказ. Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040 Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

## Лабораторная работа № 45

### Изучение эффекта термоэлектродвижущей силы

#### Цель работы:

1. Изучить устройство и принцип действия термоэлемента.
2. Определить коэффициент термоэлектродвижущей силы (коэффициент термопары).

#### Приборы и принадлежности:

Термопара, хромель-алюминиевая, электроплитка, два сосуда с водой, термометр, мультиметр.

#### КРАТКИЕ ТЕОРИТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ.

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

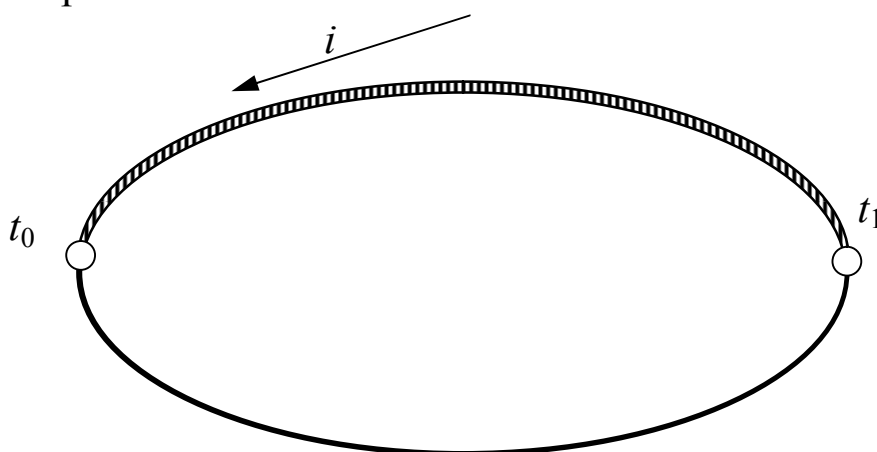


Рис.1

Для небольших интервалов температур величина термо-ЭДС  $\varepsilon$  пропорциональна разности температур контактов  $t_0$  и  $t_1$ :

$$\varepsilon = \alpha_{1,2}(t_1 - t_0), \quad (1.1)$$

где  $\alpha_{1,2}$  - коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом термопары.

Его величина определяется в основном металлами, составляющими термопару, и слабо изменяется с температурой.

Для металлов  $\alpha_{1,2}=3\times 10^{-4}+2\times 10^{-5}$  В/К, для полупроводников  $\alpha_{1,2}=10^{-4}+5\times 10^{-5}$  В/К.

Рассмотрим причины возникновения указанного эффекта. Каждая ветвь термопары состоит из очень большого числа частиц и представляет собой 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  $\sigma$  - удельная электропроводность.

Аналогичную форму имеет закон Фурье для плотности теплового потока

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

где  $\lambda$  - коэффициент теплопроводности;  $(-dt/dl)$  - градиент температуры

Применим изложенные положения к неравномерно нагретому проводнику (ветки термопары). При нагреве в его горячей части средняя кинетическая энергия частиц  $\langle K \rangle$  возрастет, а электрохимический потенциал  $\mu^1$  уменьшится по отношению к холодной области. Возникшие при этом градиенты средней энергии  $\langle K \rangle$  и электрохимического потенциала создадут два встречных потока электронов, градиент энергии - из горячей зоны, где скорость электронов выше, в холодную; градиент электрохимического потенциала – из холодной зоны в горячую. Возникшая при этом результирующая плотность тока будет пропорциональна разности указанных градиентов

$$j = L(d\langle K \rangle/dl) - L(d\mu/dl) \quad (1.2)$$

---

<sup>1</sup> Электрохимический потенциал численно равен свободной энергии в расчете на один электрон [2,3].

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

$$\mu = \xi + e\varphi \quad (1.3)$$

где  $\xi$  - химический потенциал,  $e$  - заряд электрона,  $\varphi$  - 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 (1.3) в (1.2) дает для стационарного состояния ( $j=0$ )

$$0 = L \frac{d\langle k \rangle}{dl} - L \left( \frac{d\xi}{dl} + e \frac{d\varphi}{dl} \right) \quad (1.4)$$

Учитывая что  $(-d\varphi/dl) = E$  из (1.4.) исходим

$$E = \frac{1}{e} \left( \frac{d\xi}{dl} - \frac{d\langle k \rangle}{dl} \right). \quad (1.5)$$

По определению ЭДС разомкнутой цепи численно равна разности потенциалов на концах последней.

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \int_l d\varphi = \int_l -Edl = \frac{1}{e} \int_l \left( \frac{d\langle k \rangle}{dl} - \frac{d\xi}{dl} \right) \cdot dl = \frac{1}{e} \int_l (d\langle k \rangle - d\xi) \cdot \frac{dt}{dt} = \\ &= \frac{1}{e} \int_l \left( \frac{d\langle k \rangle}{dt} - \frac{d\xi}{dt} \right) \cdot dt. \end{aligned} \quad (1.6)$$

Определяя дифференциальную термо-ЭДС для однородной ветви термопары как

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

переписываем

$$\varepsilon = \int_{t_0}^t \alpha(t) dt, \quad (1.6a)$$

где  $\alpha(t)$  является сложной функцией металла и температуры. Поэтому в двух ветвях термопары из разных металлов (рис.1) возникнут две термо-ЭДС, и результирующая будет по второму правилу Кирхгофа равна алгебраической сумме  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$ :

$$\varepsilon_{1,2} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 = \int_{t_0}^t \alpha_1 dt + \int_{t_1}^{t_0} \alpha_1 dt = \int_{t_0}^{t_1} \alpha_1 dt - \int_{t_0}^{t_1} \alpha_2 dt = \int_{t_0}^{t_1} (\alpha_1 - \alpha_2) dt. \quad (1.7)$$

Величину  $(\alpha_1 - \alpha_2)$  обозначают символом  $\alpha_{1,2}$  и называют дифференциальной термо-ЭДС термопары или коэффициентом термопары. В результате (1.7) примет вид

$$\varepsilon_{1,2} = \int_{t_0}^{t_1} \alpha_{1,2} dt. \quad (1.8)$$

Можно подобрать такие пары металлов, для которых  $\alpha_{1,2}$  будет значительной по величине и слабо зависящей от температур. В этом случае (1.8) сводится к эмпирической зависимости (1.1)

$$\varepsilon_{1,2} = \alpha_{1,2} \int_{t_0}^{t_1} dt = \alpha_{1,2} (t_1 - t_2). \quad (1.9)$$

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

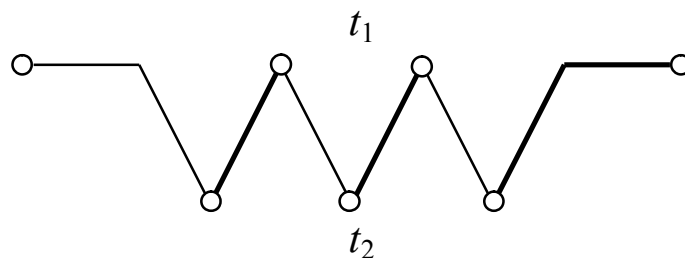


Рис.2

## ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Для определения термо-ЭДС и коэффициента термопары собирается схема, показанная на рис. 3.

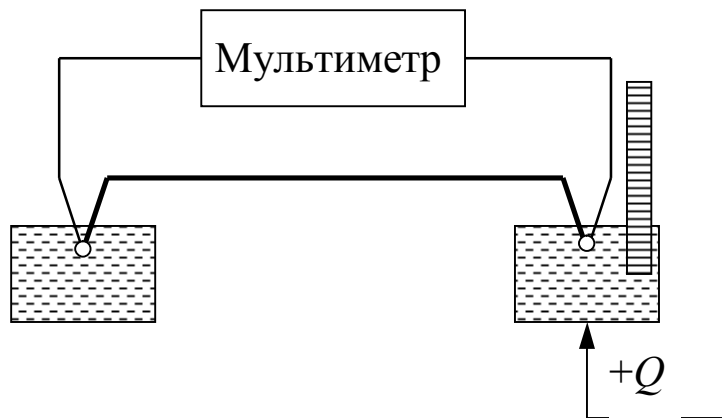


Рис. 3

Спая 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). ЭДС термопары измеряется мультиметром.

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Задание 1. Построение градуировочного графика термопары

1. Занести в таблицу значение  $t_0$  - температуру холодного спая.
2. Установить термометр в сосуде, поставленном на электроплитку так, чтобы шарик его был возможно ближе помещен к спаю термопары.
3. Включить нагреватель и в интервале температур  $20 \dots 100^\circ\text{C}$  при  $8 \dots 10$  различных значениях температуры  $t_1$  измерить  $\varepsilon$ .
4. Результат измерения занести в таблицу.

№ опыта	$t_0, ^\circ\text{C}$	$t_1, ^\circ\text{C}$	$(t_1 - t_0), ^\circ\text{C}$	$\varepsilon, \text{мВ}$
1				
2				
9				
10				

5. Построить по данным эксперимента градуировочный график термопары  $\varepsilon = f(t)$  в координатах « $\varepsilon - t$ ».

Задание 2. Определение постоянной термопары

1. Определить координаты центра графика  $\varepsilon_{\text{ц}}$  и  $t_{\text{ц}}$ .
2. Вычислить приращения  $t_{\text{ц}}-t_0$ ,  $t_{\text{max}}-t_0$ ,  $t_{\text{max}}-t_{\text{ц}}$  и отвечающие им приращения  $\Delta\varepsilon$ .
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-ЭДС?
2. Выведите формулу (1.7).
3. Нарисуйте принципиальную электрическую схему установки.
4. Выведите расчетную формулу для определения постоянной термопары.
5. Изложите порядок выполнения работы.
6. Расскажите о практических приложениях эффекта термо-ЭДС.



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Савельев И.В. Физика: В 3 т. Т.3. М.: Высшая школа, 1982. С. 215-219.
2. Савельев И.В. Физика: В 3 т. Т.1. М.: Наука, 1982. С. 330-360.
3. Шарабутов Ю.К. Введение в физику полупроводников. М.: Наука, 1970. С. 113-115.





