



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Физика»

Методические указания
к проведению лабораторной работы №38
по дисциплине «Физика»

**«Градуирование и
определение удельной
термо-э.д.с. термопары»**

Авторы
Гольцов Ю.И.,
Ларина Т.Н.

Ростов-на-Дону, 2017

Аннотация

Методические указания к лабораторной работе № 38 (раздел «Постоянный ток») предназначены для обучающихся по направлению 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», изучающих дисциплину «Специальные разделы физики» для выполнения лабораторной работы по программе курса «Специальные разделы физики».

Указания содержат краткую теорию по теме «Градуирование и определение удельной термо-э.д.с. термопары», описание рабочей установки и методику эксперимента, контрольные вопросы для самоподготовки и тестовые задания.

Авторы

к.ф.-м.н., доц. кафедры «Физика»
Гольцов Ю.И.

к.ф.-м.н., доц. кафедры «Физика»
Ларина Т.Н.





Оглавление

Лабораторная работа № 38 Градуировка термопары и определение её удельной термо-э.д.с.	4
Краткая теория	4
Порядок выполнения работы	9
Контрольные вопросы	9
Указания по технике безопасности	12
Литература	14

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 38

ГРАДУИРОВКА ТЕРМОПАРЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕЁ УДЕЛЬНОЙ ТЕРМО-Э.Д.С.

Цель работы: построение градуировочной кривой термопары медь – константан и определение её удельной термо - э.д.с.

Приборы и принадлежности: термопара медь – константан, термометры: один с диапазоном измерения температуры 0–50°C и другой с диапазоном 0–150°C, гальванометр ГСА-2, термостат, сосуд с техническим маслом, электроплитка, ключ для замыкания цепи, соединительные провода.

Краткая теория

Если из проволок двух разнородных металлов А и В и гальванометра Г составить замкнутую цепь, и места соединений (спаев) металлов поддерживать при различных температурах T_1 и T_2 , то в цепи возникнет электрический ток I_t , называемый термоэлектрическим (явление Зеебека). Такая электрическая цепь называется термопарой (рис.1). На этом рисунке: 1 – измерительный прибор (гальванометр); 2, 3 – проводники термопары (термоэлектроды); 4 – соединительные провода; 5 – температуры «холодного» и «горячего спаев термопары T_1 и T_2 соответственно.

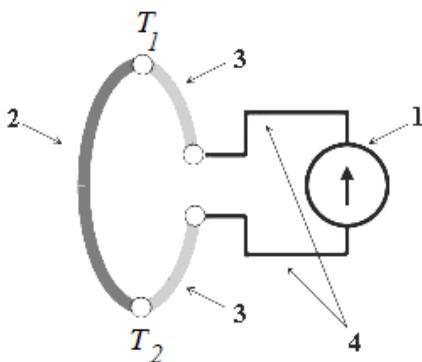


Рис. 1

Как показывает опыт, величина термоэлектродвижущей силы (термо-э.д.с.) \mathcal{E}_t зависит от химического состава металлов, образующих термопару и температуры их соединений: термо-

э.д.с. тем больше, чем больше разность температур горячего и холодного спаев. Таким образом, при постоянной температуре T_1 одного из спаев, (называемого «холодным»), сила термоэлектрического тока пропорциональна температуре T_2 второго («горячего») спаю.

Теоретическое обоснование явления Зеебека может быть дано на основе классической электронной теории металлов. Свободные электроны, имеющиеся внутри металла, находятся в состоянии непрерывного хаотического движения и удерживаются внутри него электрическими силами, действующими со стороны положительно заряженных ионов. Часть электронов с большой кинетической энергией преодолевает силы, притягивающие его к ионной решетке металла, и выходит из металла, поэтому вблизи поверхности металла всегда имеется тонкий слой электронов. Из-за недостатка электронов поверхность металла заряжается положительно. Оба слоя образуют своеобразный конденсатор с разностью потенциалов $\Delta\varphi$ (рис.2).

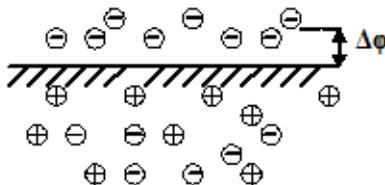


Рис. 2

Для дальнейшего выхода электронов из металла необходимо совершить работу по преодолению этой разности потенциалов. Эту работу называют работой выхода электрона из металла:

$$A = e \cdot \Delta\varphi, \quad (1)$$

где $\Delta\varphi$ – поверхностный скачок потенциала,
 $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл – заряд электрона.

Пусть работа выхода электрона в металлах $A_1 < A_2$. Так как потоки электронов в обе стороны контакта не равны, металл с меньшей работой выхода (A_1) зарядится положительно, а металл с большей работой выхода (A_2) заряжается отрицательно: на границе двух металлов образуется двойной электрический слой и возникает внутренняя контактная разность потенциалов. Электрическое поле, созданное внутренней контактной разностью потенциалов, тормозит дальнейший перенос электронов, в кон-

це концов, устанавливается динамическое равновесие.

Работа перемещения электрона за счет контактной разности потенциалов станет равной разности работ выхода и поэтому

$$\Delta\varphi'_{12} = -\frac{A_1 - A_2}{e}. \quad (2)$$

Пусть будет также различной концентрация электронов в металлах:

$$n_{01} > n_{02}.$$

После создания контакта начнется диффузия электронов преимущественно из первого металла во второй. В результате первый зарядится положительно, а второй – отрицательно. Возникающая при этом разность потенциалов $\Delta\varphi''_{12}$ между металлами

ми

$$\Delta\varphi''_{12} = \frac{kT}{e} \ln \frac{n_{01}}{n_{02}}, \quad (3)$$

где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/ К – постоянная Больцмана;

T – абсолютная температура;

e – заряд электрона;

n_{01} и n_{02} – концентрации электронов в металлах.

Полная контактная разность потенциалов двух металлов с различной работой выхода электрона и концентрацией электронного газа равна:

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi'_{12} + \Delta\varphi''_{12},$$

или, учитывая (2) и (3),

$$\Delta\varphi = -\frac{A_1 - A_2}{e} + \frac{kT}{e} \ln \frac{n_{01}}{n_{02}} \quad (4)$$

Если составить замкнутую цепь (рис. 1) из двух проволок разнородных металлов спаянных на концах ($A_1 < A_2$ и $n_{01} > n_{02}$), то в местах спаев 1 и 2 с температурами T_1 и T_2 возникнут разные по величине и противоположные по знаку контактные разности потенциалов. Применяя формулу (4), можно записать выражения для разности потенциалов спаев $\Delta\varphi_1$ и $\Delta\varphi_2$.

Если температура $T_2 > T_1$, то очевидно $\Delta\varphi_2 > \Delta\varphi_1$. В результате между спаями 1 и 2 возникает разность потенциалов,

которая как раз и является термоэлектродвижущей силой ε_t :

$$\varepsilon_t = \Delta\varphi_2 - \Delta\varphi_1. \quad (5)$$

Подставляя в формулу (5) выражения для $\Delta\varphi_1$ и $\Delta\varphi_2$, получим:

$$\varepsilon_t = -\frac{A_1 - A_2}{e} + \frac{kT_1}{e} \ln \frac{n_{01}}{n_{02}} + \frac{A_1 + A_2}{e} - \frac{kT_2}{e} \ln \frac{n_{01}}{n_{02}} = \frac{k}{e} \ln \frac{n_{01}}{n_{02}} (T_2 - T_1).$$

Величину $\frac{k}{e} \ln \frac{n_{01}}{n_{02}} = \varepsilon_0$ называют удельной термо-э.д.с. термопары.

Она равняется термо-э.д.с., развиваемой термопарой при разности температур спаев в 1 К. Следовательно, для термо-э.д.с. термопары получаем:

$$\varepsilon_t = \varepsilon_0 (T_2 - T_1) \quad (6)$$

Так как разность абсолютных температур $T_2 - T_1$ равна разности температур $t_2 - t_1$, измеренных по практической температурной шкале, то

$$\varepsilon_t = \varepsilon_0 (t_2 - t_1) \quad (7)$$

Зависимость (7) называется градуировочной характеристикой термопары.

Градуировкой термопары называется определение экспериментальным путем зависимости термоэлектродвижущей силы ε_t возникающей в термопаре, от разности температур спаев $t_2 - t_1$.

В настоящей работе для градуировки термопары собирают установку, представленную на рис. 3.

Термопару здесь образуют проводники из меди (М) и константана (К). «Холодный» спай термопары находится внутри термостата 1, а «горячий» – внутри сосуда с маслом 2. В качестве гальванометра G используют прибор ГСА-2:

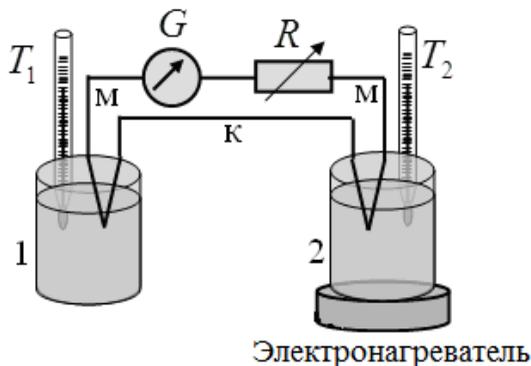


Рис. 3

Используя закон Ома для полной цепи, состоящей из термопары и гальванометра, для э.д.с. термопары можно записать:

$$\varepsilon_t = I_t (R_T + R_G), \quad (8)$$

где R_T – сопротивление термопары;
 R_G – сопротивление гальванометра;
 I_t – сила термоэлектрического тока, измеренная гальванометром.

Пусть a – цена деления гальванометра (в мкА/дел), а n_1 – число делений, на которое отклонится его стрелка, тогда:

$$\varepsilon_t = a \cdot n_1 (R_T + R_G) \quad (9)$$

Если при той же температуре горячего спая последовательно с гальванометром включить добавочное сопротивление R_D , то сила тока в цепи термопары изменится и тогда:

$$\varepsilon_t = a \cdot n_2 (R_T + R_G + R_D) \quad (10)$$

Из (9) и (10) находим:

$$\varepsilon_t = a \cdot R_D \frac{n_1 n_2}{n_1 - n_2}. \quad (11)$$

Порядок выполнения работы

1. Соберите установку согласно схеме, изображенной на рис. 3.
2. Занесите в табл.1 значения t_1 , α и $R_{д}$.
3. После проверки схемы преподавателем включите электроплитку для нагрева масла в сеть 220 В.
4. Следите за показаниями термометра в сосуде с маслом и через каждые 10 °С записывайте в таблицу показания гальванометра n_1 при замкнутом ключе, который подсоединяют к клеммам «Р» и «С» гальванометра, и n_2 (при разомкнутом ключе). **Максимальная температура нагрева масла не должна превышать 75 °С.**

Таблица 1

№ п/п	t_2 °С	$(t_2 - t_1)$, °С	n_1 дел	n_2 дел	t_1 , °С	α , мкА/°С	$R_{д}$, Ом	ε_t , мВ
1								
2								
3								
4								
5								
6								

5. Выключите электроплитку из сети. По формуле (11) рассчитайте значения ε_t (в мВ) для каждой температуры t_2 . По максимальным значениям ε_t и t_2 определите, пользуясь выражением (7), удельную термо-э.д.с. ε_0 (в мВ/°С). Все результаты занесите в таблицу.
6. Постройте на масштабнo-координатной бумаге график функции $\varepsilon_t = f(t_2 - t_1)$.

Контрольные вопросы

1. Объясните механизм возникновения контактной разности потенциалов.
2. Объясните физическую сущность термоэлектричества.
3. Что называется термо-э.д.с. и как устроена термопара?
4. Объясните, для чего необходима градуировочная кривая термопары и как ею пользоваться для определения температуры нагретого тела.

5. В тестовых заданиях, приведенных ниже, выберите правильный вариант ответа.

ЗАДАНИЕ 1. На рис.4 представлена цепь, состоящая из двух проводников А и В из разных металлов. Места контактов поддерживаются при разных температурах T_1 и T_2 . Вольтметр, включенный на концах разомкнутой цепи, покажет напряжение, природа которого:

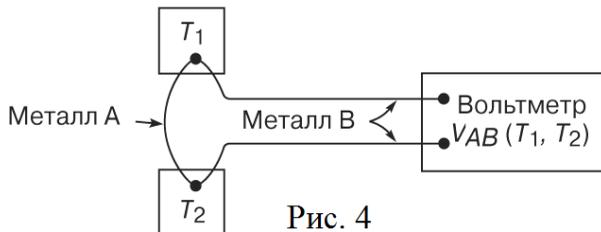


Рис. 4

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- | | |
|--------------------------|------------------------------------|
| а) – ЭДС индукции; | б) – термо-э.д.с.; |
| в) – ЭДС – самоиндукции; | г) – ЭДС гальванического элемента. |

ЗАДАНИЕ 2. Верны ли следующие утверждения:

1) при соединении двух проводников из различных металлов между ними возникает контактная разность потенциалов, которая зависит только от химического состава и температуры;

2) разность потенциалов между концами цепи, состоящей из последовательно соединенных металлических проводников, находящихся при одинаковой температуре, не зависит от химического состава промежуточных проводников.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

Верно:

- а) только 1; б) только 2; в) и 1 и 2; г) ни 1 ни 2.

ЗАДАНИЕ 3. Выберите из ниже приведенных явлений то, которое называется явлением Зеебека:

а) явление возникновения тока в замкнутой цепи, составленной из двух разнородных металлов, спаи которых поддерживаются при различной температуре;

б) явление возникновения разности температур на двух спаях разнородных металлов, образующих замкнутую цепь, по которой протекает ток;

Градуирование и определение удельной термо-э.д.с. термопары

в) явление, сопровождающееся выделением (поглощением) тепла, дополнительного к теплу Джоуля-Ленца, при прохождении тока по однородному проводнику, вдоль которого создан градиент температуры.

ЗАДАНИЕ 4. Изменится ли разность потенциалов двух разнородных металлов, приведенных в контакт, если между этими металлами поместить третий, отличный от двух первых:

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- а) не изменится; б) увеличится;
 в) уменьшится; г) а priori сказать нельзя,
 все зависит от природы металлов.

ЗАДАНИЕ 5. Каков физический смысл коэффициента пропорциональности в выражении для термо-э.д.с. $\varepsilon_t = \varepsilon_0 (t_2 - t_1)$?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

а) численно равен термо-э.д.с., возникающей при разности температур спаев $(T_1 - T_2)$;

б) численно равен отношению разности работ выхода электронов из металлов для двух разнородных металлов, составляющих термопару, к величине заряда электрона;

в) численно равен величине термо-э.д.с., возникающей при температуре спаев, равной одному градусу Кельвина.

ЗАДАНИЕ 6. Выберите факторы, от которых *зависит* контактная разность потенциалов $\varphi_1 - \varphi_2$:

- 1) от химической природы контактирующих металлов;
- 2) от температуры контактирующих металлов;
- 3) от состояния их поверхности;
- 4) от площади соприкосновения металлов

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

Верно:

- а) 1 и 2; б) 1, 2 и 3; в) 2, 3 и 4;
 г) 3 и 4; д) 1, 2 и 3.

ЗАДАНИЕ 7. В замкнутой цепи, составленной из двух металлических проводников 1 и 2 с температурами спаев T_1 (контакт А) и T_2 (контакт Б) течет ток. При условии, что $T_1 > T_2$ направление тока соответствует...

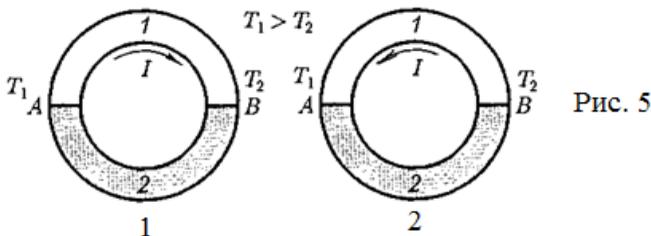


Рис. 5

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

а) рисунку 1;

б) рисунку 2

ЗАДАНИЕ 8. В замкнутой цепи, состоящей из двух разнородных металлических проводников 1 и 2, пропускают ток I' (рис. 6). При условии, что $T_1 > T_2$...

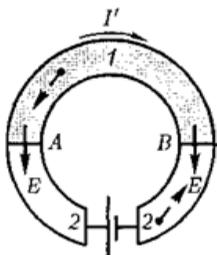


Рис. 6

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

а) спай А будет охлаждаться, спай В нагреваться;

б) спай А будет нагреваться, спай В будет охлаждаться

в) оба спаия будут при одинаковой температуре

Указания по технике безопасности

ВНИМАНИЕ! Лица, не прошедшие инструктаж по технике безопасности **Не допускаются** к проведению лабораторных работ. Перед началом лабораторной работы необходимо ознакомиться с инструкцией по ее проведению в методических указаниях.

ЗАПРЕЩАЕТСЯ:

1. Включать или выключать электрические рубильники силовых щитов;

2. Подавать электрическое напряжение без предварительной проверки схемы лаборантом или преподавателем;

3. Производить любые изменения в схеме в процессе работы;

4. Оставлять без присмотра включенную установку.

При работе с электронагревательными приборами соблю-

Градуирование и определение удельной термо-э.д.с. термопары

дать меры противопожарной безопасности, не касаться нагревательных элементов руками и горючими предметами.

При обнаружении неисправного оборудования, электрических розеток и вилок немедленно сообщать об этом преподавателю. Запрещается работать на неисправном оборудовании. По окончании работы отключить установку от электропитания.



ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Академия, 2010.
2. Иванова Г.М. Теплотехнические измерения и приборы: учебник для вузов. М: Издательство МЭИ, 2005.