

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 10.02.2021 21:22:30
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ

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

Кафедра общей и прикладной физики

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

О.Г. Локтионова

2017 г.



ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МЕТАЛЛОВ

Методические указания к лабораторной работе №36
по разделу «Электричество и магнетизм» для студентов
инженерно-технических специальностей

Курск 2017

УДК 537.31

Составитель: Л.И.Рослякова, В.В.Сучилкин

Рецензент

Доктор физ.-мат. наук, профессор кафедры ОПФ Н.М. Игнатенко

Исследования температурной зависимости электросопротивления металлов: Методические указания к лабораторной работе №36 по разделу “Электромагнетизм” /Юго-Зап. гос. ун-т.; сост.: Л.И. Рослякова, В.В. Сучилкин. Курск, 2017.10 с. табл. 1. ил.2, Библиогр.: с. 9-10.

Содержат краткое представление о природе электропроводности металлов, описание используемой установки. Указываются порядок выполнения лабораторной работы и вопросы для контрольных знаний.

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 технических специальностей (направлений) подготовки ЮЗГУ.

Предназначены для студентов инженерно-технических специальностей всех форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60×84 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 № 36

Исследование температурной зависимости электрического сопротивления металлов

Цель работы: экспериментально исследовать зависимость электрического сопротивления металлов от температуры.

Приборы и принадлежности: мост постоянного тока, нагреватель, термометр, термостат, исследуемый металл.

Краткая теория

Электрическое сопротивление – величина, характеризующая противодействие проводника или электрической цепи электрическому току.

Представление о природе электрического сопротивления можно получить из классической теории электропроводности металлов, созданной немецким физиком П. Друде и нидерландским физиком Х.Лоренцем. Положения данной теории подтверждаются рядом опытов. Рассмотрим, как данная теория объясняет зависимость сопротивления металлов от температуры.

Существование свободных электронов в металлах можно объяснить следующим образом: при образовании кристаллической решетки металла (в результате сближения изолированных атомов) валентные электроны, сравнительно слабо связанные с атомными ядрами, отрываются от атомов металла, становятся «свободными» и могут перемещаться по всему объему. Таким образом, в узлах кристаллической решетки располагаются ионы металла, а между ними хаотически движутся свободные электроны, образуя своеобразный электронный газ, обладающий, согласно теории Друде-Лоренца, свойствами идеального газа.

При отсутствии внешнего электрического поля свободные электроны совершают тепловое движение. При создании поля напряженностью \vec{E} на каждый электрон действует сила

$$\vec{F} = e\vec{E}, \quad (1)$$

приводящая к возникновению направленного движения электронов, т.е. к возникновению электрического тока. Под

действием этой силы электрон в конце длины свободного пробега λ (λ равна периоду кристаллической решетки) приобретает скорость направленного движения:

$$V_{H \max} = at = \frac{F \cdot t}{m} = \frac{eE}{m} \cdot t, \quad (2)$$

где m - масса электрона;

a - ускорение, возникающее под действием электрического поля,

t - среднее время движения электрона между двумя последовательными соударениями.

После столкновения электрона с узлом решетки скорость направленного перемещения обращается в нуль. Поэтому средняя скорость упорядоченного движения электронов равна:

$$\langle V_H \rangle = \frac{1}{2} \left(0 + \frac{eEt}{m} \right) = \frac{eEt}{2m}. \quad (3)$$

Время свободного пробега электрона:

$$t = \lambda / V_{\text{рез}}, \quad (4)$$

где $V_{\text{рез}}$ - результирующая скорость движения электронов.

Так как, помимо упорядоченного движения, возникающего при наложении внешнего электрического поля, электроны постоянно участвуют в тепловом движении, то

$$\vec{V}_{\text{рез}} = \vec{V}_T + \vec{V}_H$$

Применяя выводы молекулярно-кинетической теории, можно найти среднюю скорость теплового движения электронов:

$$\langle V_T \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}, \quad (5)$$

которая для $T = 300$ К равна $1,1 \cdot 10^5$ м/с. Среднюю скорость $\langle V_H \rangle$ упорядоченного движения электронов можно оценить согласно формуле для плотности тока:

$$J = ne \langle V_H \rangle. \quad (6)$$

Технически допустимая плотность тока $J \approx 10^7$ А/м². Тогда при концентрации носителей тока $n \approx 10^{28} - 10^{29}$ м⁻³ получаем $\langle V_H \rangle \approx 10^3$ м/с. Следовательно, $\langle V_T \rangle \gg \langle V_H \rangle$. Поэтому результирующую скорость в уравнении (4) можно заменить средней скоростью теплового движения $\langle V_T \rangle$. С учетом сказанного и уравнения (4) уравнение (3) принимает вид:

$$V_{\text{н}} = \frac{eE\lambda}{2m\langle V_T \rangle} \quad (7)$$

Подставляя уравнение (7) в уравнение (6), получаем выражение для плотности тока в проводнике:

$$J = \frac{ne^2\lambda}{2m\langle V_T \rangle} E \quad (8)$$

Закон Ома в дифференциальной форме имеет вид $J = \sigma E$. Следовательно, выражение, стоящее перед напряженностью E в уравнении (8), должно являться удельной проводимостью металла:

$$\sigma = \frac{ne^2\lambda}{2m\langle V_T \rangle} \quad (9)$$

Так как удельная проводимость металла обратно пропорциональна его удельному сопротивлению $\sigma = 1/\rho$ и в формуле (9) единственной величиной, зависящей от температуры является скорость теплового движения $\langle V_T \rangle$, которая в свою очередь определяется выражением (5), то из теории Друде-Лоренца следует, что удельное сопротивление металла ρ , а следовательно и сопротивление R должны возрастать с увеличением температуры пропорционально \sqrt{T} .

В теории Друде-Лоренца полагается, что концентрация газа n и длина свободного пробега λ от температуры не зависят.

Классическая теория оказалась не очень точной. В действительности же, как показывают опыты, в широком диапазоне температур сопротивление меняется линейно, с изменением температуры:

$$R_t = R_0(1 + \alpha t). \quad (10)$$

Более точно зависимость сопротивлений металлов от температуры можно выразить соотношением:

$$R_t = R_0(1 + \alpha t + \beta t^2),$$

где R_0 , R_t - значение сопротивления соответственно при 0°C и при t° , α и β - индивидуальные константы металла, определяемые из опыта.

Расхождение классической теории электропроводимости металлов с опытом можно объяснить тем, что движение электронов в металлах подчиняется не законам классической

механики, а законам квантовой механики. Однако классическая теория электропроводимости металлов не утратила своего значения и до настоящего времени, так как во многих случаях она дает правильные качественные результаты, и является, по сравнению с квантовой теорией, простой и наглядной.

На зависимости электрического сопротивления металлов от температуры основано действие термометров сопротивления, которые позволяют по градуированной взаимосвязи сопротивления от температуры измерять температуру с точностью до 0,003К.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

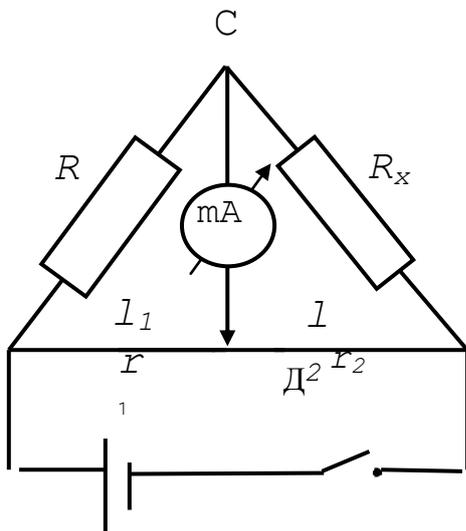


Рис.1 Схема установки

Электрическая часть установки представляет мостовую схему. Условие равновесия моста – равенство потенциалов точек С и Д (см.рис.1). Используя второе правило Кирхгофа, и исходя из условия равновесия моста, можно получить, что:

$$R_x = R \cdot \frac{r_2}{r_1} \quad (11)$$

(формулу (11) следует вывести самостоятельно).

Так как сопротивление плеч реохорда $r_1 = \rho \cdot \frac{l_1}{S}$; $r_2 = \rho \cdot \frac{l_2}{S}$, то: $\frac{r_1}{r_2} = \frac{l_1}{l_2}$ и $R_x = R \cdot \frac{l_2}{l_1}$ (12)

Из формулы (12) следует, что добиться условия равновесия моста можно изменением плеч реохорда и изменением известного сопротивления R. В предлагаемой мостовой схеме, используемой в данной лабораторной работе, плечи реохорда установлены одинаковые ($l_1 = l_2$). Выполнения условия равновесия моста добиваются только изменением известного сопротивления R, которое подбирается с помощью магазина сопротивлений.

Тогда, согласно формуле (12), исследуемое сопротивление R_x

равно сопротивлению, выставленному на магазине сопротивлений, т.е. $R_x = R$.

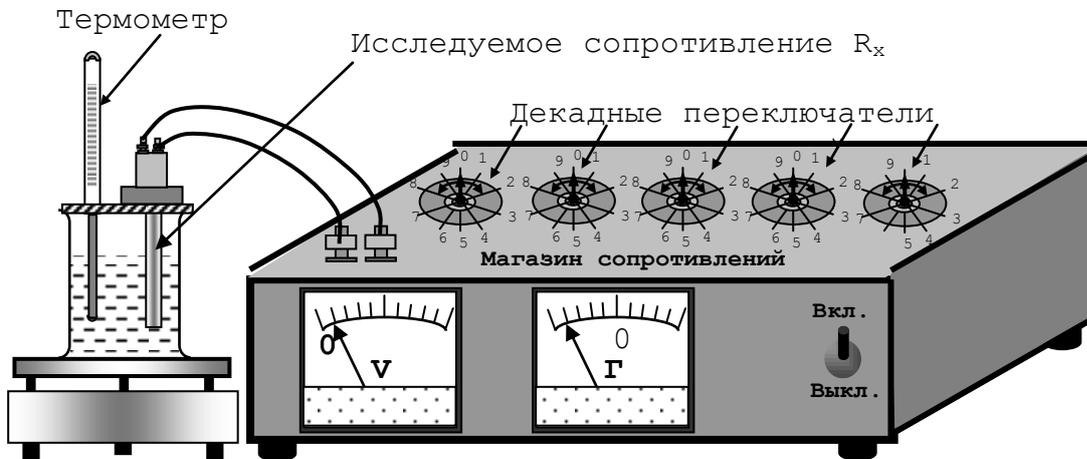


Рис.2. Внешний вид установки

Внешний вид установки представлен на рисунке 2. Установка состоит из магазина сопротивлений, источника постоянного тока, выключателя, гальванометра и вольтметра смонтированных в едином корпусе, исследуемого сопротивления R_x , термометра, ванны с жидкостью (водой) – ВЖ, термометра, нагревательного элемента (электрической плитки с закрытой спиралью) – НЭ.

Магазин сопротивлений представляет собой набор последовательно соединённых резисторов (сопротивлений) сгруппированных в декады и расположенных на декадных переключателях, закреплённых на внутренней стороне панели. Магазин имеет 7 декад, пять из которых (« $\times 10000$ Ом», « $\times 1000$ Ом», « $\times 100$ Ом», « $\times 10$ Ом», « $\times 1$ Ом»,) состоят из резисторов сопротивлением соответственно 10000, 1000, 100, 10, 1 Ом. Две декады, « $\times 0,1$ Ом» и « $\times 0,01$ Ом», состоят из 10 манганиновых спиралей, сопротивлением 0,1 и 0,01 Ом соответственно, в данной работе могут не использоваться.

Перед началом работы рукоятки всех декадных переключателей необходимо несколько раз провернуть.

Набор требуемого сопротивления производится с помощью ручек декадных переключателей. Отчёт производится по формуле:

$$R_x = (X_1 \cdot 10000 + X_2 \cdot 1000 + X_3 \cdot 100 + X_4 \cdot 10 + X_5 \cdot 1) \quad (6),$$

где X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 – показатели рукояток переключателей соответственно на « $\times 10000$ Ом», « $\times 1000$ Ом», « $\times 100$ Ом», « $\times 10$ Ом», « $\times 1$ Ом».

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Включают установку в сеть (\sim , 220 В), соблюдая при этом правила техники безопасности. Выключателем К включают источник питания. Определяют величину исследуемого сопротивления при комнатной температуре. Для этого с помощью ручек декадных переключателей магазина сопротивлений добиваются отсутствия тока в гальванометре (уравновешивания моста). С учётом того, что $\ell_1 = \ell_2$, искомое сопротивление R_x равно, выставленному на магазине сопротивлений.

2. Включают нагреватель. Повышают температуру на 5-10 градусов. Аналогично пункту (1) производят измерение сопротивления образца при данной температуре. Подобные измерения сопротивления исследуемого образца проводят до температуры 70°-80 °С.

3. Выключают нагреватель. Выливают горячую воду из ванны с жидкостью ВЖ, наливают в неё холодную воду. Повторяют все измерения при тех же самых температурах. Результаты измерений заносят в таблицу.

4. Рассчитывают среднее значение сопротивления исследуемого образца при данной температуре из двух опытов. Строят график зависимости сопротивления металла от температуры (график чертят на миллиметровой бумаге).

В выводах по работе, которые следует записать в конце отчета, необходимо оценить абсолютную и относительную погрешности, и сравнить экспериментальные кривые температурной зависимости с теоретическими.

Таблица1 Итоговые результаты

$t, ^\circ\text{C}$			0	0	0	0	0	0	0
Экспериментальные значения	R_{x1}								
	R_{x2}								
	$\langle R_x \rangle$								
Теоретические значения	R_x								

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Сравнить порядок средних скоростей теплового и упорядоченного движения электронов в металлах (при условиях близких к нормальным и приемлемым в электротехнике).

2. Вывести температурную зависимость сопротивления металлов на основе теории Друде-Лоренца. Объяснить затруднения данной теории.

3. Используя правила Кирхгофа вывести рабочую формулу и объяснить суть эксперимента.

Список рекомендуемой литературы

Основной

1. 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. ISBN 978-5-4387-0562-8

URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=442116> (22.03.2017).

2. Краткий курс общей физики [Электронный ресурс]: учебное пособие / И.А.Старостина, [и др] - Казань : Издательство КНИТУ, 2014. - 377 с. ISBN 978-5-7882-1691-1

URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=428788> (22.03.2017).

3. 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

4. Курс общей физики [Текст]: учебное пособие: в 3 т. / И. В. Савельев. - 3-е изд., испр. - М.: Наука, 1988 - .Т. 2: Электричество и магнетизм. Оптика. - 496 с. : ил. - Б. ц.

5. Курс физики [Текст]: учебное пособие для вузов/ Т. И. Трофимова. - 7-е изд., стер. - М.: Высшая школа, 2002. - 542 с.: ил. - ISBN 5-06-003634-0: 139.00 р.

Дополнительный

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

URL: [//biblioclub.ru/index.php?page=book&id=438720](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=438720) (22.03.2017).

2. Пономарева В.А. Электричество и магнетизм: курс лекций [Электронный ресурс]/ В.А.Пономарева, В.А.Кузьмичева - М.: Альтаир: МГАВТ, 2007. - 117 с.

URL: [//biblioclub.ru/index.php?page=book&id=430261](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=430261) (22.03.2017).

3. Шапиро С.В. Курс физики [Электронный ресурс]: учебное пособие/ С.В.Шапиро - Уфа: Уфимский государственный университет экономики и сервиса, 2013. - 248 с. ISBN 978-5-88469-613-6

URL: [//biblioclub.ru/index.php?page=book&id=445140](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=445140) (22.03.2017).