

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра общей физики

И.Н. АНИСИНА, Е.В. ВОЛКОВ, Т.И. ПИСКАРЕВА

ПРОВЕРКА ЗАКОНА ДЖОУЛЯ-ЛЕНЦА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №5

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом
государственного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Оренбург 2005

УДК 535.421 (075)
ББК 22.34 я 73
А 67

Рецензент
кандидат физико-математических наук, доцент Ф.А. Казачкова

А67 **Анисина И.Н., Волков Е.В., Пискарева Т.И.**
Проверка закона Джоуля-Ленца [Текст]: методические указания к лабораторной работе / И.Н. Анисина, Е.В. Волков, Т.И. Пискарева / - Оренбург: ГОУ ОГУ, 2005. - 8 с.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторной работы по изучению закона Джоуля-Ленца. Работа включает теоретическое изложение материала, описание методики проведения опыта и контрольные вопросы для самоподготовки.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторной работы по дисциплине «Общая физика» для студентов всех специальностей.

ББК 22.34 я 73

© Анисина И.Н.,
© Волков Е.В.,
© Пискарева Т.И., 2005
© ГОУ ОГУ, 2005

1 Лабораторная работа № 5. Проверка закона Джоуля-Ленца

1.1 Цель работы

1.1.1 Знакомство с теоретическим обоснованием закона Джоуля-Ленца.

1.1.2 Экспериментальное подтверждение этого закона.

1.2 Теоретические сведения

Когда проводник неподвижен, работа тока идет на увеличение внутренней энергии проводника, в результате чего проводник нагревается

$$A = Uq = IUt. \quad (1)$$

При этом вся энергия тока идет на выделение тепла

$$Q = IUt. \quad (2)$$

Исследуя на опыте нагревание проводников током, российский физик Э.Х. Ленц и английский физик Д. Джоуль установили, что количество теплоты, выделяющееся в проводнике при прохождении через него электрического тока, прямо пропорционально сопротивлению R проводника, квадрату силы тока I и времени t . Этот закон, получивший название закона Джоуля-Ленца, можно выразить следующей формулой:

$$Q = I^2Rt, \quad (3)$$

где Q – количество теплоты, выделившееся в проводнике, Дж;

R – сопротивление проводника, Ом;

I – ток, идущий по проводнику, А;

t – время, с.

При параллельном соединении проводников удобнее пользоваться другой записью закона Джоуля-Ленца, а именно:

$$Q = \frac{U^2}{R}t.$$

Если ток в проводнике изменяется с течением времени, то закон Джоуля-Ленца запишется в виде:

$$Q = \int_0^t I^2 R dt. \quad (4)$$

Уравнения (3) и (4) – аналитическая запись закона Джоуля-Ленца в интегральной форме.

От интегральной формы закона Джоуля-Ленца можно перейти к дифференциальной форме. Для этого выделим в проводнике элементарный цилиндрический объем dV длиной $d\ell$ и площадью основания dS , ось которого совпадает с вектором плотности тока \vec{j} , а основания перпендикулярны \vec{j} (рисунок 1). Вектор плотности тока сонаправлен с вектором напряженности электрического поля в проводнике $\vec{j} \uparrow\uparrow \vec{E}$.

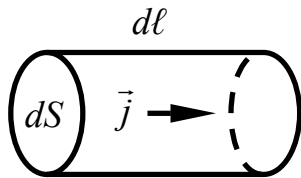


Рисунок 1

Сила тока dI в выделенном цилиндре запишется в виде

$$dI = j dS. \quad (5)$$

Сопротивление элементарного цилиндра

$$R = \rho \frac{d\ell}{dS}, \quad (6)$$

где ρ – удельное сопротивление проводника. Единица удельного электрического сопротивления – ом-метр (Ом·м).

За малое время dt в объеме dV элемента проводника выделяется количество теплоты

$$\delta Q = I^2 R dt. \quad (7)$$

Учитывая (5) и (6) перепишем (7) в виде:

$$\delta Q = j^2 (dS)^2 \rho \frac{d\ell}{dS} dt = j^2 \rho dS d\ell dt, \quad (8)$$

где $dS \cdot d\ell = dV$ – объем элементарного цилиндра.

Количество теплоты, выделяющееся за единицу времени в единице объема, называется **удельной тепловой мощностью тока**. Она равна

$$w = \frac{\delta Q}{dV dt}. \quad (9)$$

Подставив (8) в (9) получаем

$$w = \rho j^2. \quad (10)$$

Учитывая закон Ома в дифференциальной форме

$$\vec{j} = \gamma \vec{E},$$

где \vec{j} – плотность тока, измеряемая в амперах на метр в квадрате (А/м^2);

$\gamma = \frac{1}{\rho}$ – удельная проводимость, измеряемая в сименс на метр (См/м);

\vec{E} – напряженность электрического поля в проводнике, измеряемая в вольтах на метр (В/м).

Перепишем (10) в виде

$$w = \gamma E^2. \quad (11)$$

Таким образом, запись закона Джоуля-Ленца в дифференциальной форме имеет вид:

$$w = \rho j^2 = \gamma E^2. \quad (12)$$

В экспериментальной части работы делается опытная проверка закона Джоуля-Ленца в интегральной форме (2).

1.3 Экспериментальная часть

Работа выполняется на установке, состоящей из калориметра 1, заполненного водой 2, нагревателя 3, термометра 4, мешалки 5 с мотором 6, трансформатора, реостата, амперметра и вольтметра (рисунок 2). Мотор мешалки и трансформатор подключаются к сети переменного напряжения 220В.

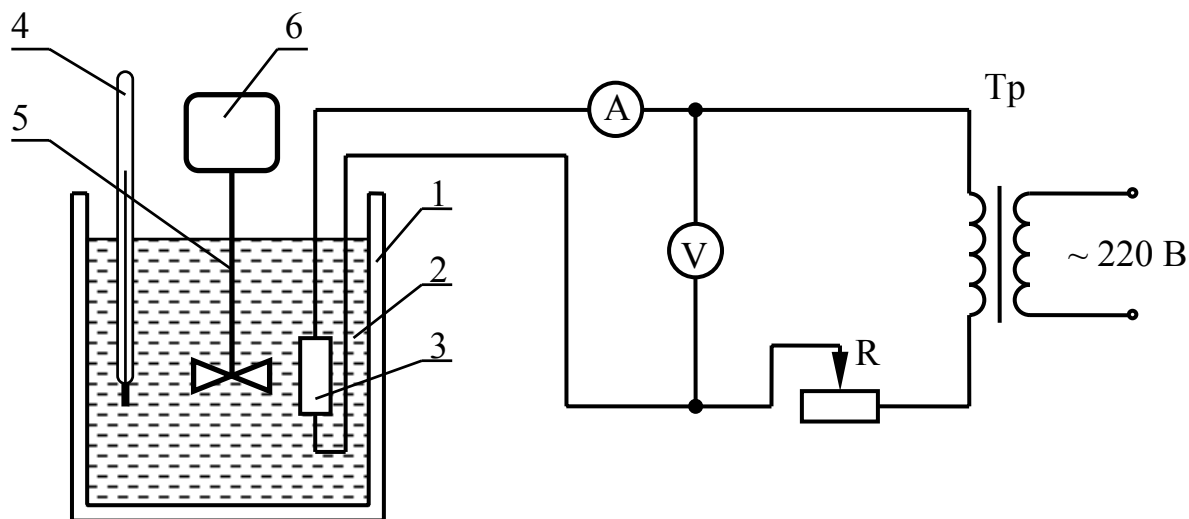


Рисунок 2

1 Электрические приборы соедините в схему, как показано на рисунке 2. После сборки схемы ее необходимо предъявить для проверки преподавателю или лаборанту.

2 После проверки схемы установите ползунков реостата в среднее положение, подключите к сети нагреватель и мотор мешалки. Сразу после включения при помощи реостата установите ток через нагреватель $I = 0,5 \dots 0,8$ А (значение задается преподавателем) и отключите его от сети.

3 После 1 – 2 минут работы мешалки вновь включите нагреватель в сеть, запустите секундомер для отсчета интервала времени $t = 10$ мин и сделайте отсчет температуры воды T_1 . При отсутствии секундомера пользуйтесь часами с секундной стрелкой. Момент включения и отключения нагревателя необходимо фиксировать с точностью ± 1 с.

4 По истечении 10 мин отключите нагреватель. Через 1 – 2 мин после отключения сделайте отсчет температуры воды T_2 и выключите из сети мотор мешалки. Значения напряжения U , силы тока I , времени t , температур T_1 и T_2 занесите в таблицу 1.

5 Найдите изменение температуры воды $(T_2 - T_1)$ и по уравнению теплового баланса вычислите количество теплоты $Q_{\text{э}}$, необходимое для нагревания воды, мешалки, нагревателя и внутренней части калориметра от T_1 до T_2 .

$$Q_{\text{э}} = (mc + C)(T_2 - T_1) \quad (13)$$

В уравнении (13) $m = 2$ кг – масса воды в калориметре, $c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ – удельная теплоемкость воды, $C = 100 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$ – общая теплоемкость мешалки, нагревателя и нагреваемых частей калориметра.

По уравнению (2) вычислите количество теплоты $Q_T = IUt$, выделяющееся в нагревателе согласно закону Джоуля-Ленца. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты измерений и вычислений

$I, \text{А}$	$U, \text{В}$	$t, \text{с}$	$T_1, \text{К}$	$T_2, \text{К}$	$Q_{\text{э}}, \text{Дж}$	$Q_T, \text{Дж}$

6 Рассчитайте ошибки $\Delta Q_{\text{э}}$ и ΔQ_T по формулам:

$$\Delta Q_{\text{э}} = \sqrt{[c(T_2 - T_1)\Delta m]^2 + [m(T_2 - T_1)\Delta c]^2 + [(T_2 - T_1)\Delta C]^2 + [(mc + C)\Delta T_2]^2 + [-(mc + C)\Delta T_1]^2}, \quad (14)$$

$$\Delta Q_T = \sqrt{(Ut\Delta I)^2 + (It\Delta U)^2 + (IU\Delta t)^2}, \quad (15)$$

где $\Delta m = 0,05$ кг, $\Delta c = 0,05 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, $\Delta C = 0,01 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$, $\Delta T_1 = 0,5$ К, $\Delta T_2 = 0,5$ К, $\Delta t = 1$ с, ΔU и ΔI – приборные погрешности вольтметра и амперметра.

Запишите результат

$$\left. \begin{aligned} Q_{\text{Э}} &= \bar{Q}_{\text{Э}} \pm \Delta Q_{\text{Э}} \\ Q_{\text{Т}} &= \bar{Q}_{\text{Т}} \pm \Delta Q_{\text{Т}} \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

В качестве $\bar{Q}_{\text{Э}}$ и $\bar{Q}_{\text{Т}}$ возьмите значения из таблицы 1.

7 Сравните результаты полученных значений $\bar{Q}_{\text{Э}}$ и $\bar{Q}_{\text{Т}}$, сделайте заключение о выполнимости закона Джоуля-Ленца.

Закон Джоуля-Ленца выполняется, если величина $Q_{\text{Т}}$ попадает в доверительный интервал экспериментального значения.

1.4 Контрольные вопросы

1.4.1 Поясните цель работы, порядок выполнения. Прокомментируйте получаемые результаты и сделайте выводы.

1.4.2 Сформулируйте закон Джоуля-Ленца в интегральной форме.

1.4.3 Выведите закон Джоуля-Ленца в дифференциальной форме. В чем заключается физический смысл удельной тепловой мощности тока?

1.4.4 Какова, на ваш взгляд, практическая ценность закона Джоуля-Ленца?

1.4.5 Расскажите, как вычисляются доверительные интервалы для $Q_{\text{Э}}$ и $Q_{\text{Т}}$. Для чего это делается?

Список использованных источников

1 **Савельев, И.В.** Курс общей физики [Текст]: учебное пособие. В 3 т. Т.2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика / И.В. Савельев. - М.: Наука, 1988. - 496 с.

2 **Трофимова, Т.И.** Курс физики [Текст]: учебное пособие для вузов / Т.И. Трофимова. - М.: Высш. шк., 2001. - 542 с.