

Лабораторная работа В4.02

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕПЛОЕМКОСТИ

Цель работы

Экспериментальное исследование изменения температуры при нагреве металлических образцов.

Задачи

1. Измерить зависимость электрического сопротивления датчика температуры внутри медного и алюминиевого образцов от времени при их нагревании.
2. Рассчитать температуру и количество теплоты, выделившееся при прохождении электрического тока через нагреватель.
3. Построить зависимости температуры образцов от выделившегося тепла и убедиться в их линейности.
4. Определить удельные теплоёмкости меди и алюминия, сравнить полученные значения с табличными.

Введение

Теплоемкостью C тела называется отношение полученного телом малого количества тепла δQ к изменению его температуры dT

$$C = \frac{\delta Q}{dT}. \quad (1)$$

Для однородных тел удобно пользоваться удельной теплоемкостью c

$$c = \frac{C}{m} = \frac{\delta Q}{mdT}, \quad (2)$$

где m – масса тела.

Удельная теплоемкость есть характеристика материала, из которого сделано тело. Для многих веществ ее значение измерено и занесено в таблицы. Удельная

теплоемкость в общем случае зависит от температуры, особенно при низких температурах. Однако в исследуемом диапазоне температур этой зависимостью можно пренебречь и считать теплоемкость постоянной.

Для определения удельной теплоёмкости вещества в лабораторной работе производится нагревание медного или алюминиевого образца пропусканием электрического тока через нагреватель. Метод экспериментального исследования заключается в сравнении выделившегося на нагревателе количества теплоты и изменения температуры теплоизолированного металлического образца.

Тепло Q , выделяющееся при прохождении электрического тока через нагреватель, можно найти, используя закон Джоуля-Ленца:

$$Q = UI\Delta t, \quad (3)$$

где U – приложенное к нагревателю напряжение, I – сила тока, протекающего через нагреватель, Δt – время нагрева.

Если считать, что все это тепло идет на нагрев образца массой m и удельной теплоёмкостью c , то при его нагреве на ΔT , например, от T_0 до T (температуру внутри образца благодаря его высокой теплопроводности также считаем везде одинаковой):

$$Q = mc\Delta T = mc(T - T_0). \quad (4)$$

Таким образом, при отсутствии теплопотерь и постоянном напряжении на нагревателе должно выполняться равенство:

$$UI\Delta t = mc\Delta T. \quad (5)$$

Как следует из (4), зависимость $T(Q)$ линейная. Определяя угловой коэффициент этой зависимости, можно найти удельную теплоёмкость образца.

Экспериментальная установка

Общий вид экспериментальной установки показан на рисунке 1.

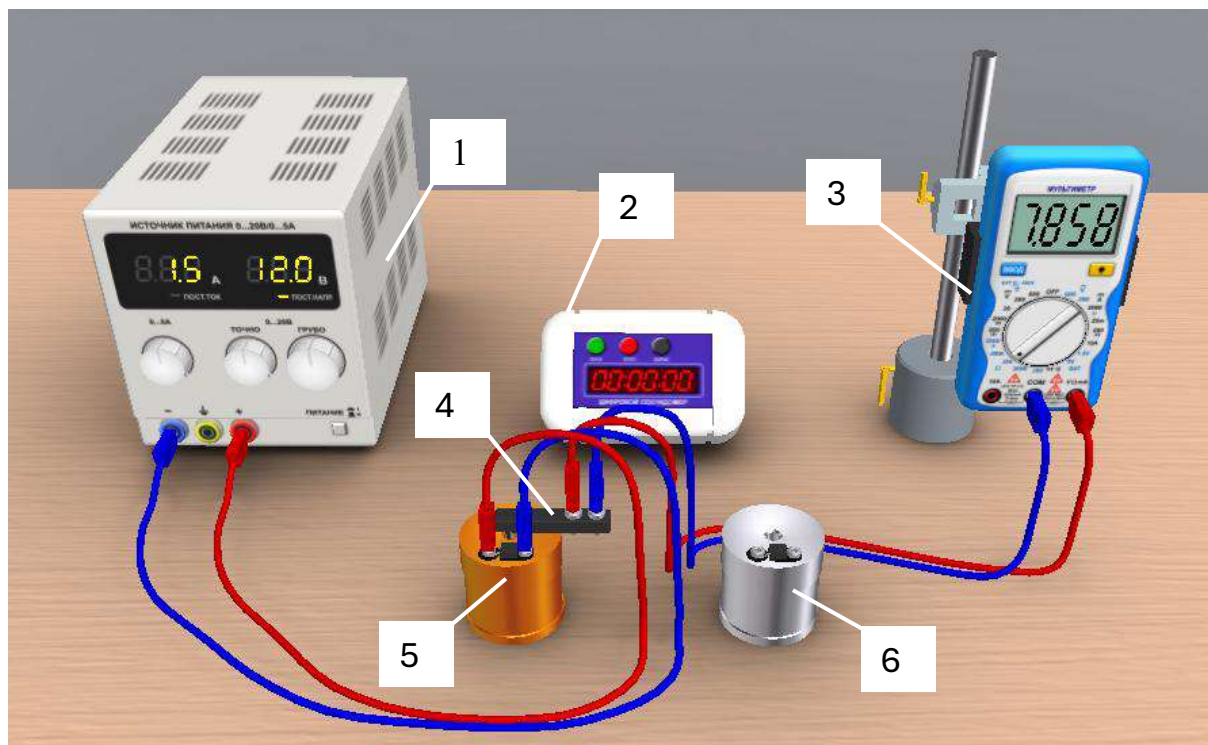


Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки: 1 – источник питания, 2 – электронный секундомер, 3 – мультиметр, 4 — температурный датчик сопротивления, 5,6 – теплоизолированные контейнеры с медным (5) и алюминиевым (6) образцами

Исследуемыми элементами являются два цилиндрических образца – медный и алюминиевый – имеющие одинаковую массу. Образцы помещены в теплоизолированные контейнеры 5 и 6, которые уменьшают теплообмен с окружающей средой, приближая условия нагрева к адиабатическим, .

Внутри каждого образца размещен нагревательный элемент.

Чувствительный элемент температурного датчика сопротивления 4 – термистор с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления (NTC-типа). Температура T (в кельвинах) может быть найдена по сопротивлению датчика R (в кОм) по формуле:

$$T, K = \frac{217}{R^{0,13}} + 122. \quad (6)$$

Как видно из формулы (6), по мере нагрева сопротивление термистора уменьшается.

Измерение сопротивления R термистора осуществляется мультиметром 3. Экспериментальная установка также содержит источник питания 1, который обеспечивает подачу постоянного напряжения на нагревательные элементы, вмонтированные в исследуемые тела. Текущие значения напряжения и тока выводятся на встроенные цифровые индикаторы.

Для синхронизации измерений во времени используется электронный секундомер 2, запускаемый одновременно с подачей питания на нагреватель и служащий для точного измерения времени нагрева.

Порядок проведения эксперимента

1. Запустите компьютерную программу виртуальной лабораторной работы «Внутренняя энергия и работа электрического тока».
2. Используя панель параметров эксперимента (рис. 2), установите заданные преподавателем значения напряжения U , силы тока I , начальной температуры T_0 и массы образца m , запишите в рабочий протокол все исходные данные.
3. Выберите материал образца (тела) «Медь».
4. Запустите процесс нагрева с помощью кнопки запуска процесса симуляции. Продолжительность эксперимента ограничена 10 минутами, по истечении которых нагрев и секундомер автоматически отключаются. Автоматизированная система сбора данных с интервалом 15 с регистрирует текущее время и сопротивление термистора, формируя массив экспериментальных данных. Эти данные сохраняются в файл `data_sheet.csv` для последующей обработки.

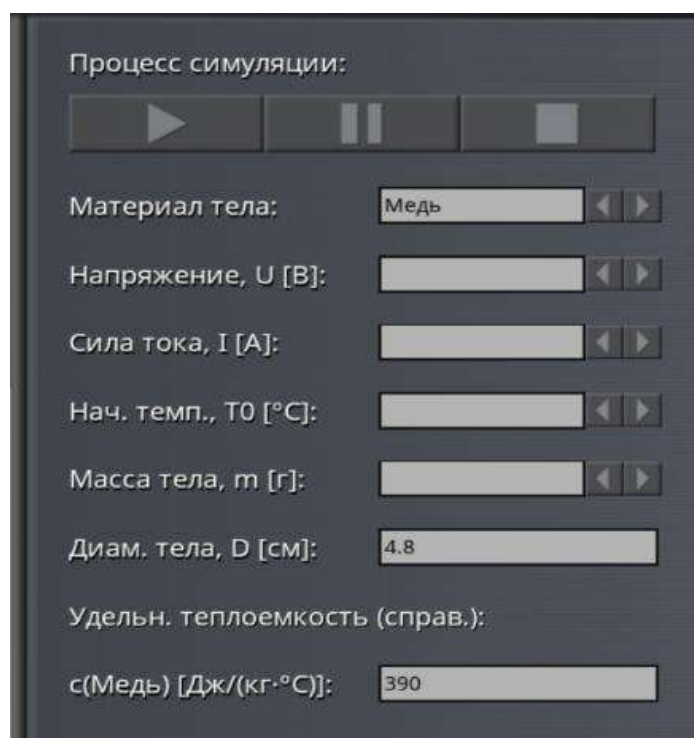


Рис. 2. Панель параметров эксперимента

5. Повторите измерения п. 4, выбрав материал образца (тела) «Алюминий».
6. После завершения измерений скачайте файл результатов измерений *data_sheet.csv* с полученными данными.
7. Перенесите данные из файла в таблицу 1.

Таблица 1. Зависимость электрического сопротивления датчика от времени

	Медь	Алюминий
Время t , с	Сопротивление датчика R , кОм	
0		
15		
...		
600		

Обработка результатов

1. Используя формулу (6), вычислите значения температуры T медного и алюминиевого тел, а также найдите значения выделившегося на нагревателе тепла для каждого момента времени по формуле (3). Результаты вычислений занесите в таблицу 2.

Таблица 2. Вычисление температуры и выделившегося тепла

	Медь		Алюминий		
$t, \text{с}$	$R, \text{кОм}$	$T, \text{К}$	$R, \text{кОм}$	$T, \text{К}$	$Q, \text{Дж}$
0					
15					
...					

2. По данным таблицы 2 постройте зависимость температуры T для медного и алюминиевого образцов от выделившегося тепла Q .
3. Убедитесь, что в использованном диапазоне температур теплоемкость постоянна, визуально проверив, является ли зависимость $T(Q)$ линейной.
4. Для зависимости $T(Q)$ определите методом парных точек угловой коэффициент $a = \frac{\Delta T}{\Delta Q}$, занесите расчёты в таблицу 3.
5. Для обоих образцов вычислите среднее значение углового коэффициента $\langle a \rangle$ и его случайную погрешность Δa .
6. Определите удельные теплоемкости медного и алюминиевого образцов:

$$\langle c \rangle = \frac{1}{m \langle a \rangle}.$$

Таблица 3. Вычисление углового коэффициента a зависимости $T = T(Q)$

	Пары точек $i - j$	ΔT_{ij} , К	ΔQ_{ij} , Дж	a_{ij} , К/Дж	$a_{ij} - \langle a \rangle$, К/Дж	$(a_{ij} - \langle a \rangle)^2$, (К/Дж) ²
Медь						
	...					
				$\langle a \rangle = \dots$	$\sum (a_{ij} - \langle a \rangle) = \dots$	$\sum (a_{ij} - \langle a \rangle)^2 = \dots$
Алю- ми- ний						
	...					
	...					
				$\langle a \rangle = \dots$	$\sum (a_{ij} - \langle a \rangle) = \dots$	$\sum (a_{ij} - \langle a \rangle)^2 = \dots$

7. Вычислите относительную и абсолютную погрешность удельных теплоёмкостей меди и алюминия:

$$\Delta c = \frac{\Delta a}{m \langle a \rangle^2}.$$

8. Запишите окончательный результат для удельных теплоёмкостей меди и алюминия.
9. Сравните полученные величины удельных теплоёмкостей металлов со справочными значениями, сделайте выводы по лабораторной работе.

Контрольные вопросы

1. Какой общий вид имеет температурная зависимость сопротивления NTC-термистора, используемого в экспериментальной установке? Отличается ли она от температурной зависимости для металлов?
2. Как изменится угловой коэффициент a зависимости $T(Q)$, если увеличить массу образцов вдвое, оставив подводимую мощность прежней?
3. Предположите основные причины различия экспериментально найденной теплоёмкости с табличным значением. Как можно уменьшить их влияние?
4. Как изменится скорость нагрева цилиндрического образца, если при неизменных массе и подводимой мощности увеличить его диаметр в два раза?

Литература

1. Детлаф А. А., Яворский Б. М. Курс физики: учебное пособие для втузов. 9-е изд., стер. М.: Академия, 2014. 719 с.
2. Иванов В. К. Физика. Молекулярная физика: учеб. пособие/ В.К. Иванов. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. 202 с.
3. Савельев И. В. Курс общей физики. В 5 тт. Т. 3. Молекулярная физика и термодинамика: Учебное пособие. 5-е изд., испр. – СПб.: Издательство «Лань», 2021. – 224 с.: ил. – (Учебники для вузов. Специальная литература).
4. [Физика. Практическая обработка экспериментальных данных: метод. указания / сост.: Б. Д. Агапьев, В. В. Козловский. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 61 с.](#)