

Лабораторная работа №8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОЕМКОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Цель работы – определение теплоемкости образцов металлов калориметрическим методом с использованием электрического нагрева.

Теория метода

Из теории идеального газа известно, что средняя кинетическая энергия одноатомных молекул (изолированных частиц)

$$\langle E_k \rangle = \frac{3}{2} \cdot k \cdot T,$$

где k – постоянная Больцмана.

Тогда среднее значение полной энергии частицы при колебательном движении в кристаллической решетке

$$\langle U_0 \rangle = 3 \cdot k \cdot T.$$

Полную внутреннюю энергию одного моля твердого тела получим умножив среднюю энергию одной частицы на число независимо колеблющихся частиц, содержащихся в одном моле, т.е. на постоянную Авогадро N_A :

$$U = \langle U_0 \rangle \cdot N_A = 3 \cdot N_A \cdot k \cdot T = 3 \cdot R \cdot T, \quad (8.1)$$

где R – универсальная газовая постоянная, $R = 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$.

Для твердых тел вследствие малого коэффициента теплового расширения теплоемкости при постоянном давлении и постоянном объеме практически не различаются. Поэтому, учитывая (8.1), молярная теплоемкость твердого тела

$$\mu \cdot C = \mu \cdot C_V = \frac{dU}{dT} = 3 \cdot R. \quad (8.2)$$

$$\mu C = 25 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$$

Подставляя численное значение молярной газовой постоянной, получим:

Это равенство, называемое законом Дюлонга и Пти, выполняется с довольно хорошим приближением для многих веществ при комнатной температуре. Со снижением температуры теплоемкости всех твердых тел уменьшаются, приближаясь к нулю при $T \rightarrow 0$. Вблизи абсолютного нуля молярная теплоемкость всех тел пропорциональна T^3 , и только при достаточно высокой, характерной для каждого вещества температуре начинает выполняться равенство (8.2). Эти особенности теплоемкостей твердых тел при низких температурах можно объяснить с помощью квантовой теории теплоемкости, созданной Эйнштейном и Дебаем.

Для экспериментального определения теплоемкости исследуемого тела помещается в калориметр, который нагревается электрическим током. Если температуру калориметра с исследуемым образцом очень медленно увеличивать от начальной T_0 на ΔT , то энергия электрического тока пойдет на нагревание образца и калориметра:

$$J \cdot U \cdot \tau = m_0 \cdot c_0 \cdot \Delta T + m \cdot c \cdot \Delta T + \Delta Q, \quad (8.3)$$

где J и U – ток и напряжение нагревателя; τ – время нагревания; m_0 и m – массы калориметра и исследуемого образца, c_0 и c – удельные теплоемкости калориметра и исследуемого образца, ΔQ – потери тепла в теплоизоляцию калориметра и окружающее пространство.

Для исключения из уравнения (8.3) количества теплоты, расходуемой на нагрев калориметра, и потери теплоты в окружающее пространство, необходимо при той же мощности нагревателя нагреть пустой калориметр (без образца) от начальной температуры T_0 на ту же разность температур ΔT . Потери тепла в обоих случаях будут практически одинаковыми и очень малы, если температура защитного кожуха калориметра в обоих случаях постоянная и равна комнатной:

$$J \cdot U \cdot \tau_0 = m_0 \cdot c_0 \cdot \Delta T + \Delta Q_0, \quad (8.4)$$

Из уравнений (8.3) и (8.4) вытекает

$$J \cdot U \cdot (\tau - \tau_0) = m \cdot c \cdot \Delta T. \quad (8.5)$$

Уравнение (8.5) может быть использовано для экспериментального определения удельной теплоемкости материала исследуемого образца. Изменяя температуру калориметра, необходимо построить график зависимости разности времени нагрева от изменения температуры исследуемого образца: $(\tau - \tau_0) = f(\Delta T)$, по угловому коэффициенту которого $K_a = \frac{m \cdot c}{J \cdot U}$ можно определить удельную теплоемкость образца.

Экспериментальная установка

Для определения теплоемкости твердых тел предназначена экспериментальная установка ФПТ1-8, общий вид которой показан на рис. 8.1.

Образцы нагреваются в калориметре, схема которого показана на рис. 8.2. Калориметр представляет собой латунный корпус с коническим отверстием, куда вставляется исследуемый образец. На наружной поверхности корпуса в специальных пазах размещается нагревательная спираль. Снаружи корпус калориметра теплоизолирован слоями асбеста и стекловолокна и закрыт алюминиевым кожухом. Калориметр закрывается теплоизолирующей крышкой. Исследуемые образцы расположены в гнездах в блоке рабочего элемента 2. После окончания эксперимента образец можно вытолкнуть из конического отверстия корпуса калориметра с помощью винта. Для удаления нагретого образца из калориметра и установки образца в нагреватель используется рукоятка, расположенная в специальном гнезде рядом с исследуемыми образцами.

Температура калориметра измеряется цифровым термометром, датчик которого находится в корпусе калориметра. В блоке приборов 1 расположен источник питания нагревателя, мощность которого устанавливается регулятором «Нагрев». Напряжение и ток в цепи нагревателя измеряется вольтметром и амперметром, которые расположены на передней панели блока приборов. Время нагрева калориметра измеряется секундомером, расположенным в блоке приборов. Секундомер приводится в действие при включении питания блока приборов. Атомные массы образцов приведены в таблице 8.1.

Таблица 8.1

№ п/п	Материал образца	Атомная масса, кг/моль
1	Дюраль	$26,98 \cdot 10^{-3}$
2	Латунь	$63,57 \cdot 10^{-3}$
3	Сталь	$55,85 \cdot 10^{-3}$

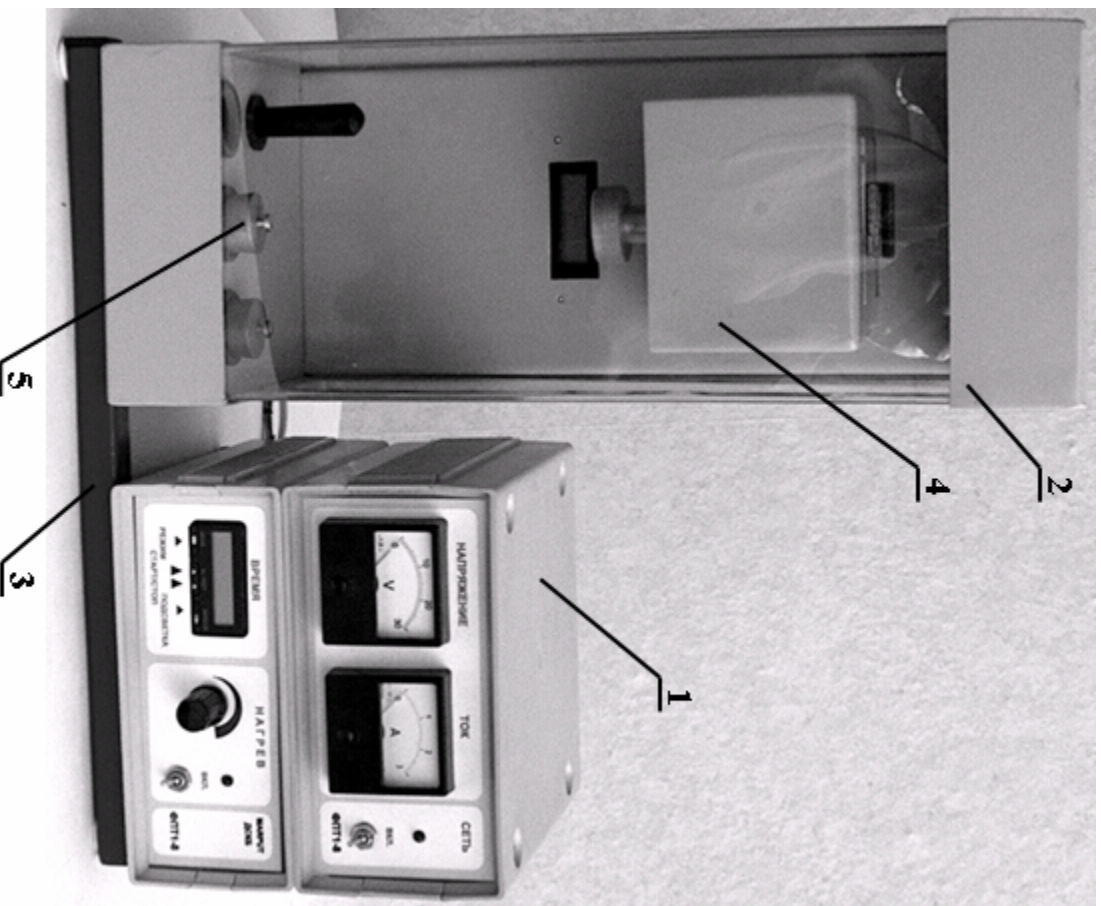


Рисунок 8.1 Общий вид экспериментальной установки ФЛТТ-8:

1 – блок приборов; 2 – блок рабочего элемента, 3 – стойка, 4 – нагреватель, 5 – исследуемые образцы.

Порядок выполнения работы

1. Снять кожух блока рабочего элемента установки и подключить его на винтах задней панели. Включить установку тумблером «Сеть».
2. Пустой калориметр плотно закрыть крышкой. Включить тумблер «Нагрев». С помощью регулятора «Нагрев» установить необходимое напряжение в цепи.

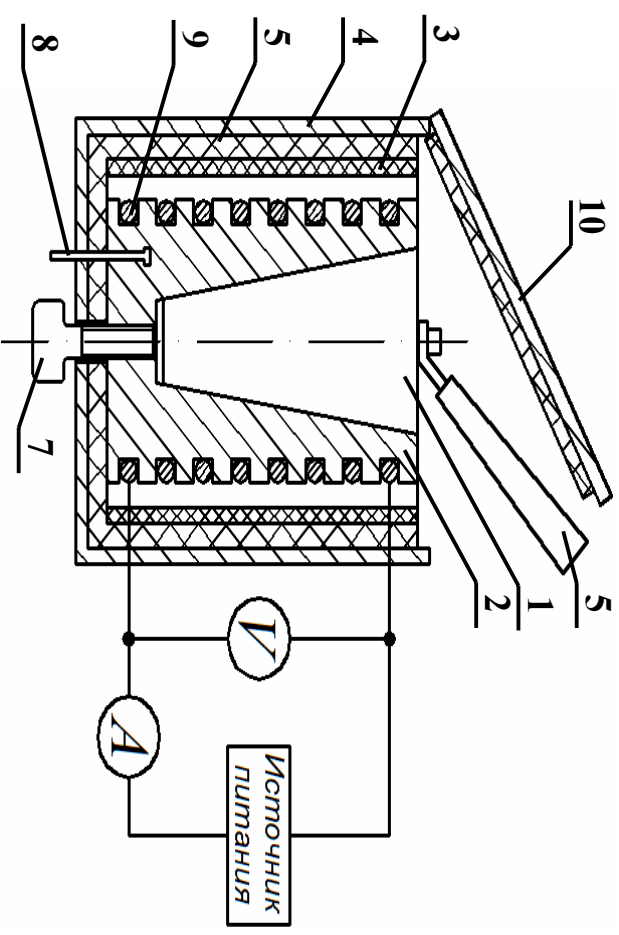


Рисунок 8.2 Схема калориметра:

1 – образец; 2 – корпус; 3 – пробка; 4 – рукоятка; 5 – стекловолокно; 7 – винт; 8 – датчик температуры; 9 – нагреватель; 10 – крышка.

3. При температуре калориметра $t_0 = 25^\circ\text{C}$ включить отсчет времени. Сделать 7-10 измерений времени нагрева пустого калориметра через интервал 1°C . Результаты занести в таблицу 8.2.

Таблица 8.2

№ изм.	$U, \text{В}$	$I, \text{А}$	$\Delta T, \text{К}$	$t_0, \text{с}$	$t, \text{с}$	$t - t_0, \text{с}$	$c, \text{Дж/(кг}\cdot\text{К)}$	$\mu c, \text{Дж/(моль}\cdot\text{К)}$

4. Включить тумблер «Нагрев», открыть крышку и охладить калориметр до начальной температуры t_0 .

5. Вращая винт влево, поместить в калориметр один из исследуемых образцов, взятый по указанию преподавателя. Плотно закрыть крышку калориметра и подождать 3 мин. для того, чтобы температура калориметра и образца сравнялись.

6. Включить нагреватель калориметра, установив такое же напряжение в цепи как и при нагревании пустого калориметра.

7. Включить отсчет времени при той же начальной температуре t_0 . Сделать 7-10 измерений времени нагревания калориметра с образцом t через интервал температуры 1°C . Результаты занести в таблицу 8.2.

8. Регулятор «Нагрев» установить в крайнее левое положение, выключить тумблер «Нагрев», открыть крышку калориметра. Для удаления образца из калориметра винт вращать вправо, после чего с помощью рукоятки вынуть нагре-

тый образец.

9. Выключить установку тумблером «Сеть».

Обработка результатов измерений

1. Построить график зависимости разности времени нагревания калориметра с образцом и пустого калориметра от изменения температуры калориметра $(t-t_0) = f(\Delta T)$ и определить угловой коэффициент K_a .
2. Используя значение углового коэффициента K_a , определить удельную теплоемкость образца по формуле $C = \frac{J \cdot U}{m} \cdot K_a$.
3. Используя данные таблицы 8.1, определить молярную теплоемкость образца.
4. Оценить погрешность результатов измерений.

Контрольные задания

1. Какая величина называется теплоемкостью вещества, удельной и молярной теплоемкостью? В каких единицах СИ они измеряются?
2. Выведите формулу для полной внутренней энергии и моля твердого тела.
3. В чем особенности теплоемкостей твердых тел? Выведите формулу для молярной теплоемкости твердого тела
4. Запишите и объясните закон Дюлонга и Пти.
5. Рассчитайте, исходя из закона Дюлонга и Пти, удельные теплоемкости алюминия ${}_{23}Al^{27}$ и железа ${}_{26}Fe^{56}$.
6. В чем заключается метод электрического нагрева для определения теплоемкости твердых тел?
7. Выведите формулу для экспериментального определения теплоемкости.
8. Почему во время эксперимента нагревание пустого калориметра и калориметра с образцом необходимо проводить при одной и той же мощности нагревателя?
9. Чем ограничена максимально допустимая температура нагревания калориметра?
10. Основные источники ошибок данного метода измерений.