

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физический факультет

Лабораторная работа №1-8

Определение теплоёмкости твёрдых тел калориметрическим методом

Руководитель:
канд. физ.-мат. наук
Конов И. А.
Работу выполнили:
Левин Н. Н.
Высоцкий М. Ю.
гр. 052101

Томск, 2022

1 Теоретическое введение

Цель работы: определение теплоёмкости образцов металлов калориметрическим методом с использованием электрического нагрева.

1.1 Теория метода. Закон Дюлонга – Пти. Закон Джоуля – Коппа

Из теории идеального газа известно, что средняя кинетическая энергия, приходящаяся на одну степень свободы молекулы, равна:

$$\langle \varepsilon_i \rangle = \frac{1}{2} kT$$

Тогда среднее значение полной энергии частицы при колебательном движении в узлах кристаллической решётки будет равна:

$$\varepsilon = 3 \left(\frac{kT}{2} + \frac{kT}{2} \right) = 3kT$$

Здесь учитывается факт, что атом в кристалле имеет три колебательные степени свободы, и на каждую приходится энергия, равная kT (по $\frac{kT}{2}$ на кинетическую и потенциальную соответственно).

Полную энергию одного моля газа можно найти, помножив среднюю энергию одной частицы на число Авогадро:

$$U_\mu = \varepsilon N_A = 3kN_A T = 3RT, \quad (1)$$

где R – универсальная газовая постоянная, равна $8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$.

Так как теплоёмкости C_V и C_P мало различимы для твердых тел, в следствие малого коэффициента теплового расширения, молярная теплоёмкость твердого тела будет равна:

$$C_\mu = \frac{\partial U_\mu}{\partial T} = 3R = 29,94 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \quad (2)$$

Выражение (2) называется **законом Дюлонга и Пти**.

Для химических соединений справедлив закон Джоуля – Коппа - закон, описывающий теплоёмкость сложных (состоящих из нескольких химических элементов) кристаллических тел. Он основан на законе (2).

Формулировка закона такова: Каждый атом в молекуле имеет три колебательных степени свободы и обладает энергией $\varepsilon = 3kT$. Соответственно, молекула из n атомов обладает в n раз большей энергией:

$$\varepsilon = 3nkN_A = 3nR$$

Иными словами, *молярная теплоёмкость вещества равна сумме теплоёмкостей составляющих его химических элементов*. Важно отметить, что закон Джоуля – Коппа выполняется даже для кристаллов, содержащих в своей структуре не подчиняющиеся закону Дюлонга – Пти химические элементы.

При $T \rightarrow 0$, теплоёмкость также $C \rightarrow 0$. Вблизи абсолютного нуля, C_μ всех тел пропорциональна T^3 . И лишь при достаточно высокой температуре, характерной для каждого вещества, начинает выполняться закон (2). Данную особенность теплоёмкостей твердых тел при низких температурах описывают **квантовой теории теплоёмкости Эйнштейна и Дебая**.

1.2 Калориметрический метод

Для экспериментального определения теплоёмкости исследуемое тело помещается в калориметр, нагреваемый электрическим током. Если температуру калориметра (без образца) медленно увеличивать, то энергия тока за время τ пойдет на нагревание пустого калориметра. Выполняется закон сохранения энергии:

$$IU\tau = m_0c_0T + \Delta Q, \quad (3)$$

где I, U ток и напряжение нагревателя, τ - время нагревания, m_0 - масса пустого калориметра, c_0 - удельная теплоемкость пустого калориметра, ΔQ - потери тепла в теплоизоляцию калориметра и в окружающее пространство. Выразив τ из (3) и построив график зависимости $\tau(T)$, мы увидим, что тангенс угла наклона этой зависимости

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{m_0c_0}{IU}T + \frac{\Delta Q}{IU} \\ \text{tg}(\alpha_0) &= K_0 = \frac{m_0c_0}{IU} = \frac{C_0}{IU} \end{aligned} \quad (4)$$

позволяет нам найти теплоёмкость пустого калориметра:

$$C_0 = K_0IU$$

Нагревая калориметр с образцом внутри, мы можем снова записать закон сохранения энергии:

$$IU\tau_0 = m_0c_0\Delta T + mc\Delta T + \Delta Q, \quad (5)$$

где m - масса образца, c - удельная теплоёмкость образца.

Также выразив τ из (5) и построив график, увидим, что у угловой коэффициент также связан с теплоёмкостью, только в этом случае - теплоёмкостью образца:

$$\tau = \frac{m_0c_0 + mc}{IU}T + \frac{\Delta Q}{IU}$$

$$tg(\alpha) = K = \frac{m_0 c_0 + mc}{IU} T = \frac{C_0 + mc}{IU} \quad (6)$$

Из (4) и (6) получим выражения для удельной и молярной теплоёмкости образца:

$$KIU - C_0 = mc = C; c = \frac{KIU - C_0}{m} \quad (7)$$

$$C_\mu = c * \mu = \frac{(KIU - C_0)\mu}{m} \quad (8)$$

2 Ход эксперимента

Для определения теплоёмкостей представленных образцов мы пользовались калориметром. Для начала мы понизили температуру рабочей области установки посредством помещения в неё целофанового пакета со снегом. После установления температуры на отметке 35°C , мы начали нагревать пустой калориметр посредством включения соответствующего тумблера на установке, предварительно выставив значения напряжения и силы тока соответственно: $U = 15 \text{ В}$; $I = 0,6 \text{ А}$.

Вышеперечисленная последовательность действий была произведена повторно для двух образцов: дюраль и латунь.

Образец	t_1, c	t_2, c	t_3, c	t_4, c	t_5, c	t_6, c	t_7, c	t_8, c	$t_{\text{ср}}, c$	$t_{\text{общ}}, c$
Пустой	13,83	13,71	12,1	11,32	10,23	10,85	10,74	9,75	11,56625	92,53
Дюраль	13,38	12,43	11,46	10,79	12,42	10,28	11,89	12,56	11,90125	95,21
Латунь	11,92	11,49	11,51	11,52	10,95	11,84	11,18	8,84	11,15625	89,25