

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

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

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:

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

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