

«Сейфуллин окулары – 16: Жаңа формациядағы жастар ғылыми – Қазақстанның болашағы» атты халықаралық ғылыми-теориялық конференциясының материалдары = Материалы Международной научно-теоретической конференции «Сейфуллинские чтения – 16: Молодежная наука новой формации – будущее Казахстана. - 2020. - Т.II. - С. 361-364

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕПЛОЕМКОСТЕЙ ТЕЛ

*Абельдина Ж.К.,
Бенкс А., Исмагулова Б.*

Удельной теплоемкостью называется физическая величина, равная количеству теплоты, которое нужно сообщить единице массы вещества для увеличения его температуры на 1К:

$$C = dQ/(m \cdot dT), \quad (1)$$

где C - удельная теплоемкость, dQ - количество сообщенной теплоты, dT - изменение температуры, m - масса вещества.

Большинство твердых тел имеет кристаллическое строение. В узлах кристаллической решетки располагаются молекулы, атомы или ионы. У металлов узлы кристаллической решетки заполнены положительно заряженными ионами. Между ионами беспорядочно, подобно молекулам газа, движутся электроны, отщепившиеся от атомов при образовании кристалла. Эти электроны удерживаются вместе положительно заряженными ионами, иначе решетка распалась бы под действием кулоновских сил отталкивания, возникающих между ионами. Вместе с тем и электроны удерживаются ионами в пределах кристаллической решетки [1].

Ионы в кристаллической решетке совершают тепловые колебания около фиксированных положений равновесия. Характер этих колебаний весьма сложен. В упрощенной модели колеблющаяся частица взаимодействует с соседними частицами, т. е. колебания передаются от одной частицы к другой и распространяются в кристалле в виде упругих тепловых волн. Вследствие того, что коэффициент объемного расширения твердых тел при комнатной температуре мал, различие между теплоемкостями при постоянном давлении и постоянном объеме невелико. Поэтому общее выражение теплоемкости твердого тела совпадает со значением молярной теплоемкости при $V = \text{const}$:

$$C_m = dU/dT, \quad (3)$$

где dU - изменение внутренней энергии тела, являющейся суммой кинетической энергии колебательного движения частиц, находящихся в узлах кристаллической решетки, и потенциальной энергии их взаимодействия; dT - изменение температуры; V - объем тела.

Полная энергия U колеблющейся частицы равна:

$$U = E_k + E_p. \quad (4)$$

Так как средняя кинетическая энергия $\langle E_k \rangle$ равна средней потенциальной энергии $\langle E_p \rangle$, то среднее значение полной энергии частицы

$$\langle U \rangle = 2 \langle E_k \rangle = kT, \quad (5)$$

где k - постоянная Больцмана, T - температура.

При написании уравнения (5) использовалась теорема о равномерном распределении энергии по степеням свободы. Согласно этой теореме энергия, приходящая на одну степень свободы, равна $kT/2$. Под числом степеней свободы понимается число независимых параметров, определяющих положение тела в пространстве. Колебательная степень свободы частиц обладает удвоенной энергетической емкостью: на каждую колебательную степень свободы приходится в среднем две половинки kT - одна в виде кинетической и одна в виде потенциальной энергии. Поэтому правая часть в уравнении (5) принимается равной kT . Если твердое тело рассматривать как систему, состоящую из N свободных частиц, то в трехмерном пространстве оно имеет $3N$ степеней свободы и поэтому согласно выражению (5) обладает энергией

$$U = \langle U \rangle 3 N k T = 3 RT, \quad (6)$$

где $R = k T$ - универсальная газовая постоянная.

Из формул (3) - (6) следует закон Дюлонга и Пти: при не слишком низких температурах молярная теплоемкость химически простых веществ, находящихся в кристаллическом состоянии, одинакова и равна: $C_m = 3R$.

Удельная c и молярная C_m теплоемкости связаны соотношением:

$$c = C_m / \mu. \quad (7)$$

Для одноатомных веществ, какими являются исследуемые металлы, молярная и атомная массы совпадают. Таким образом, определив по таблице элементов Д.И. Менделеева молярную массу вещества, с помощью закона Дюлонга и Пти, можно рассчитать его удельную теплоемкость.



Рисунок 1 – Установка для определения теплоемкости твердых тел

Если нагреть на ΔT °C калориметр с размещенным в нем исследуемым образцом (рис.1), то энергия электрического тока пойдет на нагревание образца и калориметра [2]. По закону сохранения энергии можно записать:

$$I \cdot U t_1 = m_k \cdot c_k \cdot \Delta T + m_i \cdot c_i \cdot \Delta T + \delta, \quad (8)$$

где I и U - ток и напряжение на нагревателе, t_1 - время нагревания, m_k и m_t - массы калориметра и нагреваемого образца, c_k и c_t - удельные теплоемкости калориметра и образца, δ - потери тепла.

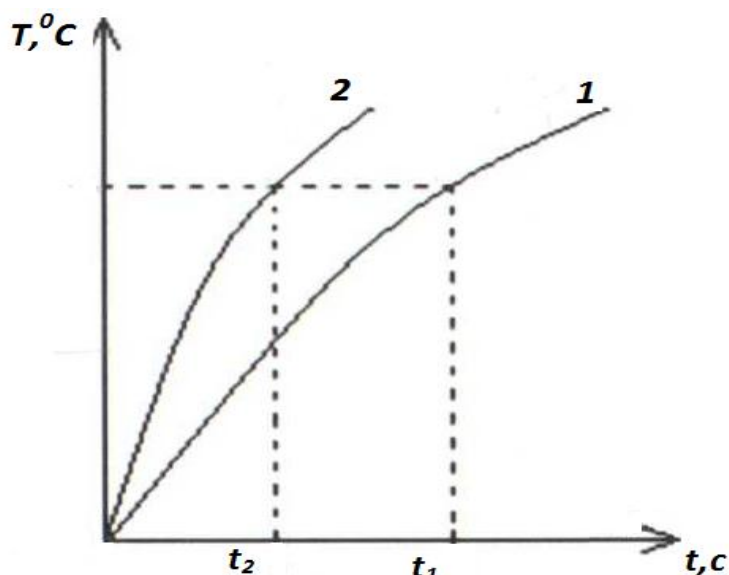


Рисунок 2 – График зависимости температуры от времени для пустого калориметра (2) и калориметра с исследуемым образцом (1)

Для того, чтобы вычислить и исключить из уравнения (8) теплоту, идущую на нагрев калориметра, и потери тепла в окружающее пространство, можно нагреть пустой калориметр на те же ΔT °C. Потери теплоты в обоих случаях будут одинаковыми, так как они зависят только от разности температур ΔT , но этот процесс потребует меньшего времени нагревания t_2 :

$$I \cdot U \cdot t_2 = m_k \cdot c_k \cdot \Delta T + \delta. \quad (9)$$

Из уравнений (8), (9) находится удельная теплоемкость исследуемого образца:

$$c = I \cdot U \cdot \Delta t / (m_t \cdot \Delta T). \quad (10)$$

где $\Delta t = t_1 - t_2$. Значение Δt можно определить по графикам зависимости ΔT от t для пустого калориметра и калориметра с исследуемым образцом, как это сделано на рис. 2. Результаты измерений указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Измерение теплоемкостей твердых тел

	калориметр	дерево	медь	капролон	сталь
t, c	219	405	326	299	311
t_0, c	30,1	30,0	30,1	30,1	30,1
$T, ^\circ C$	75,5	75,5	75, 5	75, 5	75, 5
I, A	0,47	0,47	0,45	0,47	0,47
U, B	99	96	95	98	98

Данные эксперимента согласуются с теоретическими расчетами [3-4].

Список используемой литературы

- 1 Детлаф А.А. Курс физики. – М.: Высшая школа, 2009. – 718 с.
- 2 Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ. Комплект учебно-лабораторного оборудования «Измерение теплоемкостей тел». /Образовательные технологии. Production kz., Астана, 2018.
- 3 Strzheimchny, M.A., Krivchikov, A.I., Jeżowski A. Heat capacity of molecular solids: The special case of cryocrystals (Scopus). -2019. -Vol. 45, No 12. - P. 1290-1295.
- 4 Stepurko, E.N., Blokhin, A.V., Kohut, S.V., Kabo, G.J. Thermodynamic Properties of 1-Methyl-4-nitro-1,2,3-triazole. // Thermochimica Acta (Scopus). - 2020. -Vol. 686, No 178534.