

## Лабораторна робота № Т9

### ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОЄМНОСТІ ТВЕРДИХ ТІЛ

Мета роботи - визначення теплоємностей зразків металів калориметричним методом з використанням електричного нагріву.

#### Теорія методу

Теплоємністю тіла називається величина, що дорівнює кількості теплоти, яку потрібно надати тілу для підвищення його температури на один Кельвін. Якщо при наданні тілу кількості теплоти  $dQ$  його температура підвищується на  $dT$ , то теплоємність

$$C_T = \frac{dQ}{dT} \quad (4.1)$$

Теплоємність одиниці маси речовини називається питомою теплоємністю:

$$c = \frac{C_T}{m} = \frac{dQ}{m dT} \quad (4.2)$$

Теплоємність одного моля речовини називається молярною теплоємністю:

$$\mu c = \frac{C_T}{\nu} = \frac{dQ}{\frac{m}{\mu} dT} \quad (4.3)$$

Тут  $\nu$  – число молей,  $\nu = \frac{m}{\mu}$  ( $m$  – маса;  $\mu$  – молярна маса речовини).

Якщо твердому тілу надати деяку кількість теплоти, вона витрачається на збільшення енергії коливань частинок, які утворюють кристалічну решітку. Частинки твердого тіла взаємодіють одна з одною, і тому коливання всіх частинок зв'язані між собою. При досить високих температурах коливання частинок можна приблизно розглядати як незалежні одне від одного.

Повна енергія частинки дорівнює сумі кінетичної і потенціальної

$$U_0 = E_K + E_{II}$$

Оскільки коливання частинок в ґратці є приблизно гармонічними, середні значення  $\langle E_K \rangle$  і  $\langle E_{II} \rangle$  однакові:

$$\langle E_K \rangle = \langle E_{II} \rangle$$

З теорії ідеального газу відомо, що середня кінетична енергія одноатомних молекул (ізолюваних частинок)  $\langle E_K \rangle = \frac{i}{2} kT$ , де  $k$  – стала Больцмана. Тоді середнє значення повної енергії частинки за коливального руху в кристалічній ґратці

$$\langle U_0 \rangle = 3kT$$

Повну внутрішню енергію  $U$  одного моля твердого тіла отримаємо, домноживши середню енергію однієї частинки на число частинок, що незалежно коливаються, які містяться в одному молі, тобто на сталу Авогадро  $N_A$ :

$$U = \langle U_0 \rangle N_A = 3 N_A kT = 3RT, \quad (4.4)$$

де  $R = 8,31$  Дж/(моль·К) – універсальна газова стала.

Для твердих тіл, внаслідок малої величини коефіцієнта теплового розширення, теплоємності за сталого тиску та об'єму практично не відрізняються одна від одної. Тому, враховуючи (4.4) молярна теплоємність твердого тіла

$$C = C_V = \frac{dU}{dT} = 3R \quad (4.5)$$

Підставивши значення універсальної газової сталої, дістанемо:

$$C = 25 \text{ Дж/(моль К)}.$$

Ця рівність називається законом Дюлонга і Пті і виконується досить точно для багатьох речовин за кімнатної температури. Але при зниженні температури теплоємності всіх твердих тіл зменшуються, наближаючись до нуля при  $T = 0$ . Біля абсолютного нуля молярна теплоємність усіх тіл пропорційна  $T^3$  і тільки за досить високої температури, характерної для кожної речовини, починає виконуватись рівність (4.5). Ці особливості теплоємностей твердих тіл за низьких температур можна пояснити за допомогою квантової теорії теплоємності, створеної Ейнштейном та Дебаєм.

Для експериментального визначення теплоємності тіло, що досліджується, вміщується в калориметр, який нагрівається електричним струмом. Якщо температуру калориметра із зразком досить повільно збільшувати від початкової  $t_0$  до  $(t_0 + \Delta T)$ , тоді енергія електричного струму піде на нагрівання зразка і калориметра:

$$IU\tau = m_0c_0\Delta T + mc\Delta T + \Delta Q, \quad (4.6)$$

де  $I$  і  $U$  – струм і напруга нагрівника;  $\tau$  – час нагрівання;  $m_0$ ,  $m$  – маси відповідно калориметра і досліджуваного зразка;  $c_0$ ,  $c$  – питомі теплоємності відповідно калориметра і досліджуваного зразка;  $\Delta Q$  – витрати теплоти в теплоізоляцію калориметра і в навколишній простір.

Для виключення з рівняння (4.6) кількості теплоти, витраченої на нагрівання калориметра, і витрат теплоти у навколишній простір необхідно за тієї самої потужності нагрівника нагріти порожній калориметр (без зразка) від початкової температури  $t_0$  на таку саму різницю температур  $\Delta T$ . Витрати теплоти в обох випадках будуть практично однаковими і досить малими, якщо температура захисного кожуха калориметра в обох випадках стала і дорівнює кімнатній:

$$IU\tau_0 = m_0c_0\Delta T + \Delta Q \quad (4.7)$$

Із рівнянь (4.6) та (4.7) випливає

$$IU(\tau - \tau_0) = cm\Delta T \quad (4.8)$$

Рівняння (4.8) може бути використане для експериментального визначення питомої теплоємності матеріалу зразка, що досліджується. Змінюючи температуру калориметра, необхідно побудувати графік залежності різниці часу нагрівання від зміни температури зразка  $(\tau - \tau_0) = f(\Delta T)$ , за кутовим коефіцієнтом якого  $K_a = \frac{mc}{IU}$  і можна визначити питому теплоємність зразка.

#### Експериментальна установка

Для визначення теплоємності твердих тіл призначена установка ФПТ 1-8, загальний вигляд якої зображений на рис.4.1, де 1 – блок приладів; 2 – блок робочого елемента; 3 – стойка; 4 – нагрівник; 5 – зразок.

Зразки нагрівають у калориметрі, схему якого показано на рис.4.2, де 1 – зразок; 2 – корпус; 3 – азбест; 4 – кожух; 5 – рукоятка; 6 – скловолокно; 7 – важіль; 8 – датчик температури; 9 – нагрівник; 10 – кришка.

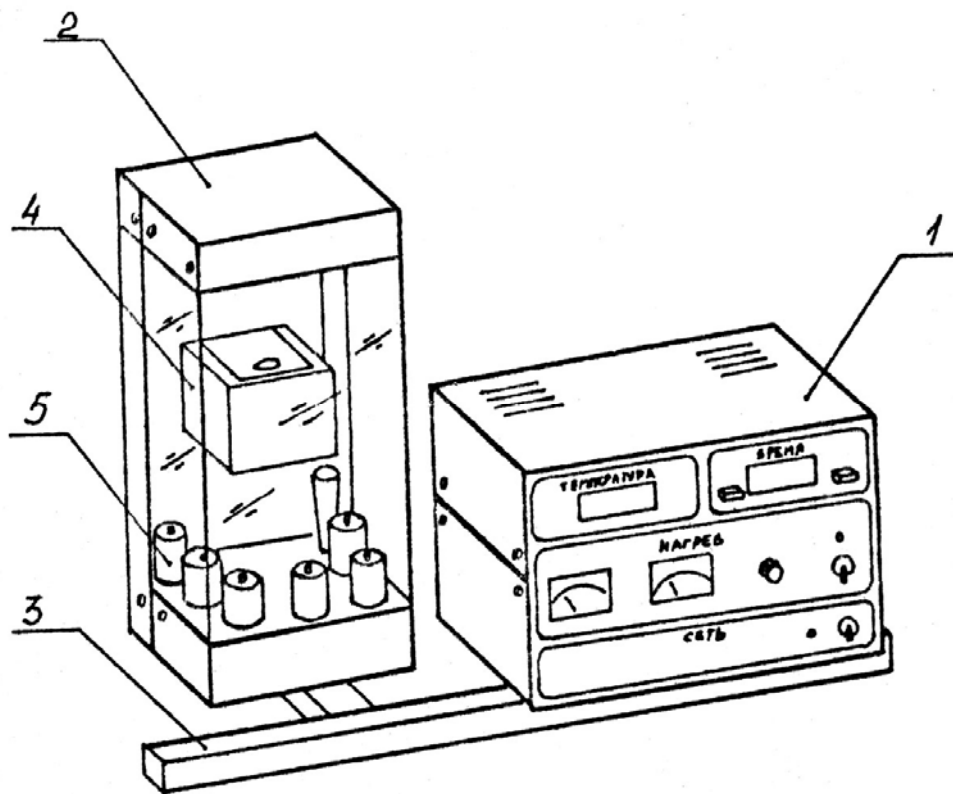


Рис. 4.1

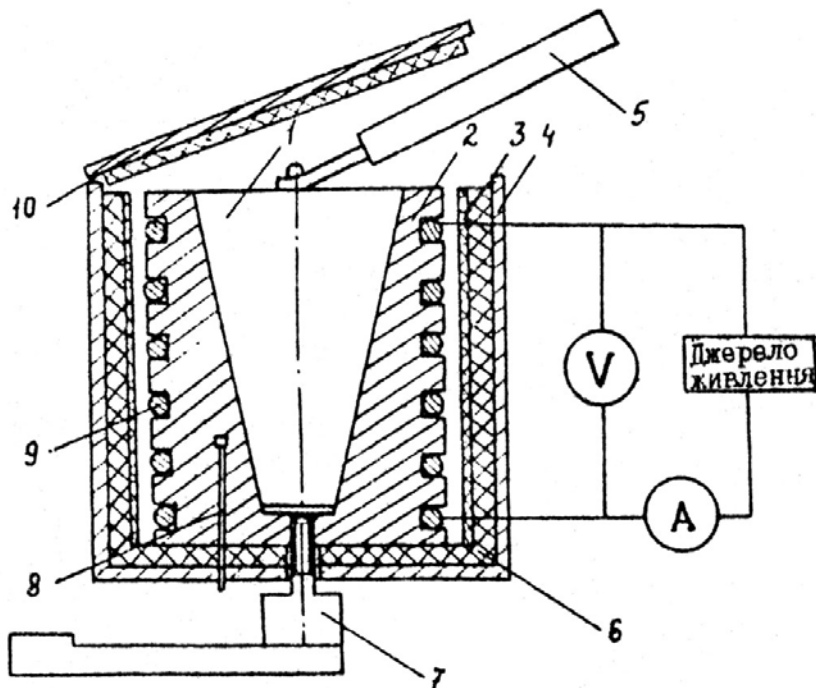


Рис. 4.2

Калориметр (рис.4.2) складається з латунного корпусу з конічним отвором, куди вміщується зразок, що досліджується. На зовнішній поверхні корпусу в спеціальних пазах розміщена спіраль нагрівника. Ззовні корпус калориметра теплоізолюваний шарами азбесту і скловолокна та закритий алюмінієвим кожухом. Калориметр закривається теплоізолюваною кришкою. Після закінчення експерименту зразок можна виштовхнути з конічної порожнини корпусу калориметра поворотом спеціального важеля. Для видалення

нагрітого зразка з калориметра та установки зразка в нагрівник використовується рукоятка, розміщена в спеціальному гнізді поруч із зразками, що досліджуються.

Температуру калориметра вимірюють напівпровідниковим термометром, датчик якого знаходиться в корпусі калориметра, і реєструється на цифровому індикаторі "ТЕМПЕРАТУРА" блоку приладів (1). У блоці приладів розташоване також джерело живлення нагрівника, потужність якого встановлюється регулятором "НАГРЕВ". Напруга і струм у колі нагрівника вимірюються відповідно вольтметром і амперметром, які знаходяться на передній панелі блоку приладів.

Час нагрівання калориметра вимірюється секундоміром, розташованим у блоці приладів, і реєструється на цифровому індикаторі "ВРЕМЯ". Секундомір приводиться в дію при вмиканні живлення блоку приладів. Скидання до нуля значень на індикаторі провадиться натисканням кнопки "ОСТАНОВ", після відпускання якої знову починається відлік часу. Зразки, що досліджуються, розміщені в гніздах першого ряду. На торцевій поверхні цих зразків нанесено маркування маси. Атомні маси зразків наведено в табл.4.1.

Після нагрівання для прискорення охолодження калориметра можуть бути використані зразки без маркування маси, розміщені у гніздах другого ряду, які послідовно вміщуються у калориметр.

Таблиця 4.1

№ п/п	Матеріал зразка	Атомна маса, кг/моль
1	Дюраль	$26,98 \cdot 10^{-3}$
2	Латунь	$63,57 \cdot 10^{-3}$
3	Сталь	$55,85 \cdot 10^{-3}$

#### Порядок виконання роботи

1. Зняти кожух з робочого елемента установки і підвісити його на гвинти задньої панелі. Увімкнути установку тумблером "СЕТЬ".
2. Щільно закрити кришку порожнього калориметра. Ввімкнути тумблером електричний нагрівник і встановити регулятор потужності: в положення "4" або "5".
3. За температури калориметра  $t_0 = 25^\circ\text{C}$  включити відлік часу. Зробити 7-10 вимірювань часу нагрівання порожнього калориметра через інтервал температури  $1^\circ\text{C}$ . Результати занести до табл. 4.2.
4. Вимкнути нагрівник і охолодити калориметр до початкової температури  $t_0$ . Для швидкого охолодження калориметра рекомендується при відчиненій кришці вміщувати в нього зразки, призначені для охолодження калориметра, без маркування маси. Для видалення зразка з калориметра важіль повернути в крайнє праве положення, після чого за допомогою рукоятки вийняти нагрітий зразок.
5. Повернути важіль у крайнє ліве положення, помістити в калориметр один із зразків, які досліджуються (за вказівкою викладача). Щільно закрити кришку калориметра і зачекати 3 хв. до вирівнювання температур калориметра і зразка. Увімкнути нагрівник калориметра, встановивши те ж саме значення напруги в колі, що і при нагріванні порожнього калориметра.
6. Увімкнути відлік часу за тієї ж самої початкової температури  $t_0$ . Зробити 7-10 вимірювань часу  $\tau$  нагрівання калориметра із зразком через інтервал температури  $1^\circ\text{C}$ . Результат занести до табл. 4.2.

Таблиця 4.2

№ виміру	$U$ , В	$I$ , А	$\Delta T$ , К	$\tau_0$ , с	$\tau$ , с	$(\tau - \tau_0)$ , с	$c$ , Дж/(кг·К)	$C$ , Дж/(моль·К)

7. Вимкнути нагрівник, відкрити кришку калориметра і вийняти зразок.
8. Вимкнути установку тумблером "СЕТЬ".

#### Обробка результатів вимірювань

1. Побудувати графік залежності різниці часу нагрівання калориметра із зразком та порожнього калориметра від температури калориметра  $\tau - \tau_0 = f(T)$  та визначити кутовий коефіцієнт  $K_\alpha$ .
2. Використовуючи знайдений кутовий коефіцієнт  $K_\alpha$ , визначити питому теплоємність зразка за формулою

$$c = \frac{IU}{m} K_\alpha$$

3. Використовуючи дані таблиці 4.1 визначити молярну теплоємність зразка.
4. Оцінити похибку результатів вимірювань

#### Контрольні запитання

1. Які величини називаються: теплоємністю речовини, питомою теплоємністю, молярною теплоємністю? У яких одиницях СІ вони вимірюються?
2. Виведіть формулу для повної внутрішньої енергії 1 моля твердого тіла.
3. У чому особливості теплоємностей твердих тіл? Виведіть формулу для молярної теплоємності твердого тіла.
4. Запишіть і поясніть закон Дюлонга і Пті.
5. Розрахуйте, виходячи із закону Дюлонга і Пті, питомі теплоємності алюмінію  ${}_{23}\text{Al}^{27}$  та заліза  ${}_{26}\text{Fe}^{56}$ .
6. Метод електричного нагріву для визначення теплоємності твердих тіл.
7. Виведіть формулу для експериментального визначення теплоємності.
8. Чому під час експерименту нагрівання порожнього калориметра та калориметра із зразком необхідно проводити за однієї й тієї самої потужності, підведеної до нагрівника?
9. Чим обмежена максимально можлива температура нагрівання калориметра?
10. Які основні джерела похибок даного методу вимірювання?