

## Лабораторна робота № 1-6

# ВИЗНАЧЕННЯ ВІДНОШЕННЯ ТЕПЛОЄМНОСТІ ГАЗУ ПРИ СТАЛОМУ ТИСКУ ДО ЙОГО ТЕПЛОЄМНОСТІ ПРИ СТАЛОМУ ОБ'ЄМІ

**Мета роботи:** визначити відношення теплоємностей газу при сталому тиску та сталому об'ємі, ґрунтуючись на першому законі термодинаміки.

**Обладнання:** балон із двома трубками і кранами; рідинний манометр, гумова груша або насос.

### Теоретичні відомості

Теплоємністю тіла  $C$  називається відношення нескінченно малої кількості теплоти  $\delta Q$ , отриманої тілом, до відповідного приросту  $dT$  його температури:

$$C = \frac{\delta Q}{dT}, \quad (6.1)$$

Теплоємність одиниці маси називається питомою. Її позначають літерою  $c$  (маленька). Більш зручною є молярна теплоємність – теплоємність, що віднесена до одного моля речовини; позначається літерою  $C$  (велика). Обидві наведені теплоємності пов'язані співвідношенням

$$C = c\mu, \quad (6.2)$$

де  $\mu$  – молярна маса.

Теплоємність газу залежить від умов, за яких тілу передається тепло. Використаємо для обчислення теплоємності перший закон термодинаміки:

$$\delta Q = dU + \delta A = dU + P dV, \quad (6.3)$$

де  $dU$  - зміна внутрішньої енергії тіла,  $\delta A$  - виконана газом робота,  $P$  – тиск газу,  $V$  – його об'єм.

Підставивши (6.3) у (6.1) отримаємо:

$$C = \frac{dU}{dT} + P \frac{dV}{dT}, \quad (6.4)$$

або з урахуванням того, що для моля ідеального газу

$$U = \frac{i}{2}RT, \quad (6.5)$$

отримаємо:

$$C = \frac{i}{2}R + P \frac{dV}{dT}, \quad (6.6)$$

Тут  $R = 8,314 \text{ Дж / (моль} \cdot \text{К)}$  – універсальна газова стала, а  $i$  – число ступенів свободи молекули газу. Для одноатомного газу  $i = 3$ , для двоатомного ідеального газу  $i = 5$  і для триатомного  $i = 6$ . При цьому для двох- та триатомного газу передбачається наявність жорсткого зв'язку між атомами у молекулі.

З рівняння (6.6), з урахуванням рівняння Клапейрона – Менделєєва (7.8), можна отримати вираз для теплоємності ідеального газу при сталому об'ємі та теплоємності при сталому тиску:

$$C_v = \frac{i}{2}R, \quad C_p = \frac{i+2}{2}R. \quad (6.7)$$

Відношення теплоємностей при сталому тиску і сталому об'ємі  $\gamma = C_p / C_v$  відіграє у термодинаміці суттєву роль. Зокрема, воно входить у рівняння Пуассона, яке описує адіабатичне (без теплообміну із зовнішнім середовищем) розширення газу

$$P V^\gamma = \text{const}. \quad (6.8)$$

Для ідеального газу  $\gamma$  легко визначити з (6.7):

$$\gamma = \frac{i+2}{i}. \quad (6.9)$$

Однак, не завжди є відомим хімічний склад газу, тобто невідоме  $i$ . Тому важливими є експерименти, що дозволяють визначити  $C_p / C_v$  для будь якого – газу, близького за властивостями до ідеального. Один з найпростіших методів визначення  $C_p / C_v$  – метод Клемана та Дезорма. У цьому методі використано адіабатичне стиснення та розширення газу.

Газ, вміщений у посудину, послідовно проходить через три стани. Кожен із цих станів характеризується відповідно тиском  $P$ , об'ємом  $V$  та температурою  $T$ . Перший стан має параметри  $P_1, V_1, T_1$ , другий –  $P_2, V_2, T_2$ , третій –  $P_3, V_3, T_3$ .

Перший стан характеризує газ, що знаходиться у закритій посудині при кімнатній температурі  $T_1$  і тискові  $P_1$ , який дещо перевищує атмосферний тиск.

Якщо сполучити посудину на короткий час з атмосферою, то відбудеться адіабатне розширення газу, його тиск зрівняється з атмосферним  $P_2$ , а температура  $T_2$  знизиться внаслідок швидкого розширення газу. Цей перехід описується рівнянням Пуассона (6.8), яке за допомогою рівняння Клапейрона приводиться до вигляду :

$$\left( \frac{P_1}{P_2} \right)^{\gamma-1} = \left( \frac{T_1}{T_2} \right)^\gamma, \quad (6.10)$$

Внаслідок теплообміну з оточуючим середовищем газ у закритій посудині перейде з другого стану у третій. При цьому температура газу вирівняється з кімнатною  $T_3 = T_1$ , об'єм не зміниться, а тиск  $P_3$  зросте. Цей перехід описується законом Шарля:

$$\frac{P_3}{P_2} = \frac{T_3}{T_2} = \frac{T_1}{T_2}. \quad (6.11)$$

Розв'язавши сумісно рівняння (6.10) і (6.11), знайдемо:

$$\gamma = \frac{\ln P_1 - \ln P_2}{\ln P_1 - \ln P_3}. \quad (6.12)$$

У формулі (6.12) згідно з умовами експерименту  $P_2$  – атмосферний тиск, а тиски  $P_1$  і  $P_3$  дещо перевищують  $P_2$ . Якщо різницю між тиском газу в посудині та атмосферним тиском вимірювати рідинним манометром, то відміна тисків буде визначатися висотою  $h_1$  і  $h_2$  рівнями рідини (води) у колінах манометра, тобто  $P_1 = P_2 + \rho g h_1$  і  $P_3 = P_2 + \rho g h_3$ , де  $\rho$  – густина рідини.

Через те, що  $\rho g h_1$  і  $\rho g h_2$  є малими порівняно з  $P_2$ , то логарифми тисків можуть бути виражені так:

$$\ln(P_2 + \rho g h_1) = \ln P_2 \left( 1 + \frac{\rho g h_1}{P_2} \right) \approx \ln P_2 + \frac{\rho g h_1}{P_2}, \quad (6.13)$$

$$\ln(P_2 + \rho g h_2) = \ln P_2 \left( 1 + \frac{\rho g h_2}{P_2} \right) \approx \ln P_2 + \frac{\rho g h_2}{P_2}. \quad (6.14)$$

Після підстановки (6.13) і (6.14) у (6.12) отримаємо:

$$\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_2}. \quad (6.15)$$

### Опис установки

Прилад, що використовується у цій роботі, являє собою скляний балон Б (рис.6.1) наповнений повітрям і щільно закоркований. Балон береться настільки великим, щоб можна було знехтувати змінами об'єму газу у колінах манометра. Крізь корок проходять дві трубки: одна з них з'єднана з рідинним манометром М (рідиною у манометрі є вода), друга з комбінованим краном К. В одному з положень К об'єм балона з'єднується з оточуючим середовищем, а в іншому – з гумовою грушею або насосом (Н). Отвори крана та трубки, з'єднаної з краном К, повинні забезпечити вихід повітря за досить короткий час, тому що у протилежному випадку процес не може вважатись адіабатним.

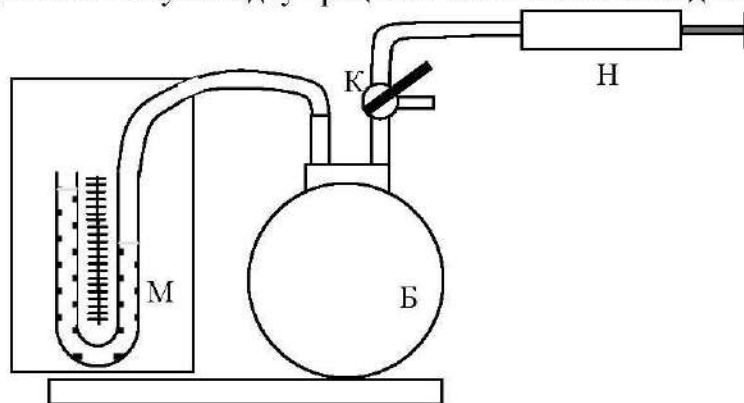


Рис. 6.1

## Послідовність виконання роботи

Знайомлячись із приладом, необхідно приділити увагу призначенню крану К. Спочатку кран знаходиться у положенні, за якого об'єм балона ізольований від атмосфери та під'єднаний до насоса.

1. Накачати за допомогою насоса повітря настільки, щоб різниця рівнів у манометрі  $h_1$  сягнула 7-8 см. Унаслідок роботи стискання, яка виконана зовнішньою силою, температура повітря в балоні дещо підвищиться. Стиснуте та нагріте повітря у балоні почне охолоджуватись до кімнатної температури. Через 3-5 хвилин, коли припиниться зміна рівнів рідини у манометрі, слід записати різницю рівнів рідини у колінах манометра  $h_1$ .

2. Швидко з'єднати краном об'єм балона з атмосферою і знову перекрити вихід в атмосферу в той момент, коли рівні рідини у манометрі вирівнюються. Якщо все це зробити достатньо швидко, то теплообмін між повітрям у балоні та оточуючим балон повітрям не встигає відбутися, тобто тут матиме місце адіабатне розширення повітря. Повітря у балоні, розширюючись, виконує роботу проти сил зовнішнього тиску за рахунок своєї внутрішньої енергії, завдяки чому охолоджується. Через деякий час повітря у балоні нагрівається до кімнатної температури і його тиск підвищується. У зв'язку з цим стовпчик рідини у коліні манометра, що під'єднане до балона, почне знижуватись.

3. Після того як зміна рівнів у колінах манометра стабілізується, треба визначити та записати різницю рівнів  $h_2$ . Дослід (п.п. 1-3) повторити 8 разів. Результати вимірювань занести до таблиці 6.1.

4. За формулою (6.15) вирахувати  $\gamma$  для кожного з дослідів і знайти його середнє значення.

5. Обчислите середньоквадратичну похибку  $S_{\langle \gamma \rangle}$  та відносну похибку  $\varepsilon$ .

Результати занести до таблиці 6.1.

6. Записати кінцевий результат у вигляді  $\gamma = \langle \gamma \rangle \pm t_{\alpha, n} S_{\langle \gamma \rangle}$ .

Для коефіцієнта довіри взяти значення  $\alpha = 0,8$ .

## Контрольні запитання

1. Як пов'язані між собою питома та молярна теплоємності?
2. На скільки більша молярна теплоємність при сталому тискові за молярну теплоємність при сталому об'ємі?
3. Поясніть суть першого закону термодинаміки.
4. Дайте визначення рівноважних ізопроцесів та адіабатичного процесу і зобразіть їх на термодинамічних діаграмах.
5. Зі співвідношення (6.8) отримайте співвідношення (6.10).
6. Як вплине на результат дослідження запізнення при перекритті крану К?
7. Як вплине на результат дослідження наявність водяної пари у повітрі, яким наповнено балон?

## Література

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. Т.1. "Техніка", К., 1999.
2. Савельєв І.В. Курс общей фізики. В 3т. Т.1. §83-88. - М.: Наука, 1982.
3. Сивухин Д.В. Общий курс фізики. Т.2. §18-23. - М.: Наука, 1975.

Таблиця 6.1

n	Різниця рівнів рідини в манометрі		$\gamma$	$(\gamma_i - \langle \gamma \rangle)^2$
	$h_1, \text{ см}$	$h_2, \text{ см}$		
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
$t_{\alpha, n} = \dots\dots\dots$	$\sum_{i=1}^8 \gamma_i = \dots\dots\dots$		$\sum_{i=1}^8 (\gamma_i - \langle \gamma \rangle)^2 = \dots$	
$\varepsilon = \frac{S_{\langle \gamma \rangle}}{\langle \gamma \rangle} \cdot 100\% = \dots\dots\dots$	$\langle \gamma \rangle = \frac{\sum_{i=1}^8 \gamma_i}{8} = \dots\dots\dots$		$S_{\langle \gamma \rangle} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^8 (\gamma_i - \langle \gamma \rangle)^2}{8 \cdot 7}} = \dots\dots\dots$	

Кінцевий результат:

$$\gamma = \underline{\hspace{10cm}}$$