

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ЩОДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ  
З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ «ФІЗИКА»  
«ВИЗНАЧЕННЯ ВІДНОШЕННЯ ТЕПЛОЄМНОСТЕЙ ПОВІТРЯ  
МЕТОДОМ АДІАБАТНОГО РОЗШИРЕННЯ»  
(РОЗДІЛ «МЕХАНІКА І МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА»)  
ДЛЯ СТУДЕНТІВ ТЕХНІЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ  
ДЕННОЇ ТА ЗАОЧНОЇ ФОРМ НАВЧАННЯ

КРЕМЕНЧУК 2011

Методичні вказівки щодо виконання лабораторної роботи з навчальної дисципліни **«Фізика»** «Визначення відношення теплоємностей повітря методом адіабатного розширення» (розділ «Механіка і молекулярна фізика») для студентів технічних спеціальностей денної та заочної форм навчання

Укладач: старш. викл. О.І.Лисенко

Рецензент д.т.н., проф. О.І.Єлізаров

Кафедра фізики

Затверджено методичною радою Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського

Протокол № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

Заступник голови методичної ради \_\_\_\_\_ доц. С.А.Сергієнко

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1-10

### ВИЗНАЧЕННЯ ВІДНОШЕННЯ ТЕПЛОЄМНОСТЕЙ ПОВІТРЯ МЕТОДОМ АДАБАТНОГО РОЗШИРЕННЯ

**ТЕМА РОБОТИ** Перший закон термодинаміки

**МЕТА РОБОТИ** Вивчення першого закону термодинаміки і експериментальне визначення відношення теплоємностей повітря.

#### ТЕХНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ

Металевий балок з двома кранами, мікроманометр, ручний насос, секундомір, гнучкі шланги.

#### 1 ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ

Внутрішня енергія ідеального газу - це енергія всіх видів руху молекул газу. Внутрішня енергія ідеального газу є функцією його стану і може бути виражена через температуру стану газу:

$$U = \frac{im}{2M} RT$$

де  $i$  - число степенів вільності газових молекул.

Вимірювання внутрішньої енергії газу відбувається двома шляхами: шляхом виконання роботи проти зовнішніх сил і шляхом теплопередачі. І, навпаки, якщо газу надати зовні кількість теплоти  $Q$ , він може виконати роботу  $A$  проти зовнішніх сил і внутрішня енергія його зміниться на  $\Delta U$ .

За першим законом термодинаміки

$$Q = A + \Delta U \quad \text{або} \quad dQ = dA + dU,$$

але якщо  $dQ$  і  $dA$  не є повними диференціалами ( $A$  і  $Q$  не є функціями стану газу). Елементарна робота, яка виконується газом:

$$dA = p dV$$

де  $p$  тиск газу,  $dV$  - зміна об'єму газу.

В ізохоричному процесі газ роботу не виконує і кількість наданої йому теплоти витрачається на збільшення внутрішньої енергії газу.

Молярна теплоємність газу при постійному об'ємі - це кількість теплоти, яка необхідна для нагрівання 1 моля газу на 1 К при постійному об'ємі:

$$C_v = \left( \frac{dQ}{dT} \right)_v = \frac{dU}{dT} = \frac{i}{2} R, \quad C_v = \frac{i}{2} R$$

В ізобарному процесі газ нагрівається і виконує роботу проти зовнішніх сил. Робота ізобарною розширення газу:

$$A = \frac{m}{M} R (T_1 - T_2)$$

Молярна теплоємність газу при постійному тиску:

$$C_p = \frac{i+2}{2} R,$$

$$C_p = \left( \frac{dQ}{dT} \right)_p = \frac{dU}{dT} + \frac{dA}{dt},$$

$$C_p = C_v + R.$$

Відношення теплоємностей газу:

$$\gamma = \frac{i+2}{i}$$

У процесі ізотермічної зміни стану газу кількість теплоти, яка надана газу, витрачається на виконання роботи проти зовнішніх сил. Адіабатний процес - це процес зміни стану газу, який відбувається без теплообміну із навколишнім середовищем. Співвідношення між параметрами початкового і кінцевого стану газу в адіабатному процесі виражається рівнянням Пуассона:

$$p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma$$

В адіабатному процесі газ виконує роботу проти зовнішніх сил за рахунок зменшення внутрішньої енергії:

$$A = \frac{m}{M} C_v (T_1 - T_2)$$

## 2 МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ

Установка для визначення відношення теплоємностей повітря (рис.1) складається із металевого баллона 1, ручного насоса 2 і мікроманометра 3. Балон з'єднаний з насосом за допомогою крана 4, та з атмосферою - за допомогою крана 5. Мікроманометр вимірює надлишок тиску в балоні порівняно з атмосферним у міліметрах спиртового стовпа. У балон при закритому крані 5 накачують невелику кількість повітря, чекають декілька хвилин, доки температура повітря в балоні не буде дорівнювати температурі атмосферного повітря. Після вирівнювання температур висота  $h_1$  стовпа

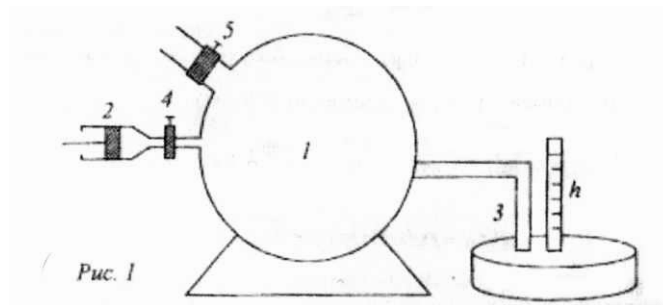


Рис. 1

спирту в мікроманометрі стабілізується. Параметри повітря в балоні  $P_1$ ,  $V_1$ ,  $T_1$ , причому

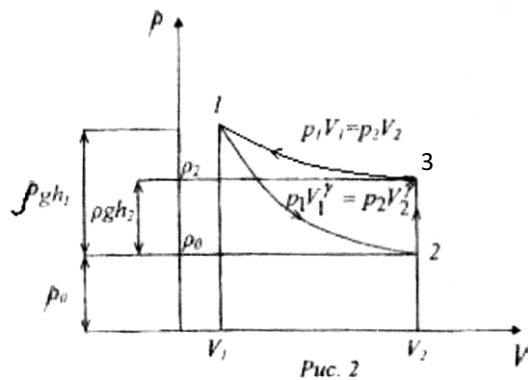
$$P_1 = P_0 + \rho g h_1$$

де  $P_0$  - атмосферний тиск.

На діаграмі (рис.2) початковому стану повітря в балоні відповідає точка 1.

Якщо кран 5 (при закритому крані 4) швидко відкрити, відбувається розширення повітря, яке наближене до адіабатного, і тиск повітря у балоні знижується до  $P_0$ . Внаслідок розширення повітря у балоні охолоджується до температури  $T_2$ . Параметри повітря у точці 2 діаграми  $P_2$ ,  $V_2$ ,  $T_2$ . Нехтуючи масою повітря, яке залишає балон, для переходу із стану 1 до стану 2 можна використати рівняння Пуасона:

$$p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma \quad (1)$$



Після розширення повітря 5 кран закривається. Відбувається теплообмін між повітрям атмосфери і повітрям у балоні через стінки балона. Після вирівнювання температур до  $T_1$  у мікроманометрі встановлюється рівень спирту  $h_2$ . Параметри повітря для стану 3 на діаграмі  $V_2$ ,  $P_3$ ,  $T_1$ , причому

$$P_3 = P_0 + \rho g h_2$$

Станам 1 і 3 повітря в балоні відповідає одна і та сама температура, тому

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \quad (2)$$

Розв'язуючи разом рівняння (1) і (2) відносно  $\gamma$ , отримаємо

$$\gamma = \frac{\lg p_1 - \lg p_2}{\lg p_2 - \lg p_3}$$

Розкладемо у ряд Тейлора  $\lg p_1$ ,  $\lg p_3$ , беручи до уваги, що  $\rho g h_1 \ll p_0$ ,  $\rho g h_2 \ll p_0$ , і обмежимося двома членами розкладу:

$$\lg p_1 = \lg(p_0 + \rho g h_1) = \lg p_0 + \frac{\rho g h_1}{p_0} \dots,$$

$$\lg p_3 = \lg(p_0 + \rho g h_2) = \lg p_0 + \frac{\rho g h_2}{p_0} \dots,$$

Тоді відношення теплоємностей повітря:

$$\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_2}$$

Процес розширення повітря в балоні при відкритому крані 5 швидкий, і практично неможливо досягти збігу часу закриття крана 5 із закінченням адіабатного розширення. Проміжок часу, на протязі якого кран 5 відкритий, складається із часу адіабатного розширення  $\tau_0$  і часу запізнення  $\tau$ , причому  $\tau$  може бути додатнім або від'ємним. Для визначення значення  $h_2$  спеціально беруть такі значення  $\tau$  для яких  $\tau \gg \tau_0$  і час запізнення практично дорівнює проміжку часу, протягом якого кран 5 відкритий. Між знайденим із досліду  $h_2'$ , одержаним із запізненням часу, довжиною запізнення  $\tau$  та дійсним значенням  $h_2$  існує залежність:

$$h_2' = h_2 e^{-a\tau}$$

де  $a$  - стала для данної установки величина. Цю залежність у напівлогарифмічних координатах екстраполюють для значення  $\tau_0$  графічним методом, який дозволяє сталу  $a$  визначати через  $h_2$ . Для цього за заданим значеннями  $\tau$  вимірюють значення  $h_2'$ , будують графік залежності  $\lg h_2'$  від  $\tau$ , апроксимують одержану залежність прямою лінією, продовжують пряму до перетину з віссю  $\lg h_2'$  і одержують з графіка  $\lg h_2$  (рис. 3). Для визначення відношення теплоємностей повітря з графічною обробкою результатів вимірювань в усіх дослідах потрібно брати одне і те саме значення  $h_1$ . Відтворення  $h_1$  визначає абсолютну похибку вимірювань  $\Delta h_1$ , що складає 1-2мм шкали мікроманометра. Відносна похибка вимірювань відношення теплоємностей

$$E = \frac{\Delta \gamma}{\gamma} = \frac{\Delta h_1}{h_1} + \frac{\Delta h_1 + \Delta h_2}{h_1 - h_2}$$

Абсолютну похибку  $\Delta h_2$  визначають як похибку одиничного вимірювання, залежно від точності виміру вона може складати 0,5-1мм шкали мікроманометра.

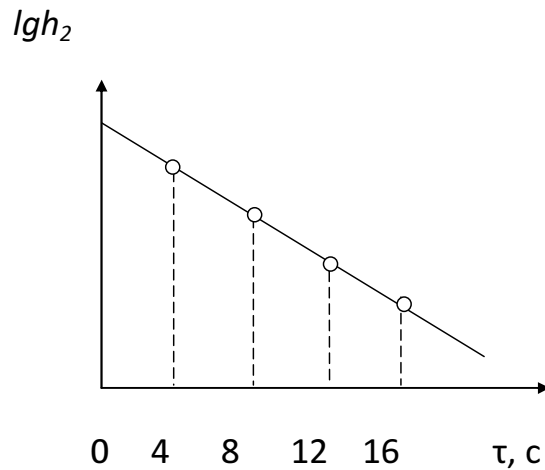


Рис. 3

### 3 ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Закрутити кран 5 і при відкритому крані 4 накачати насосом повітря в балоні до показів мікроманометра 150-180мм. Закрутити кран 4. Через кілька хвилин після накачування повітря покази мікроманометра стабілізуються. Протягом цього часу температура повітря в балоні стає однаковою з температурою повітря в лабораторії. Зафіксувати покази мікроманометра  $h_1$ .
2. Швидко відкрити кран 5 і одночасно ввімкнути секундомір. По закінченні часу запізнення  $\tau_1 = 4c$  кран 5 потрібно закрити. Слідкувати за показами мікроманометра, відлік  $h_2'$  зробити після закінчення підвищення спирту в трубці мікроманометра.
3. Повторити вищеописаний дослід при одному і тому самому значенні  $h_1$ , з часом запізнення 8с, 12с, 16с. Після дослідів обидва крани залишити відкритими.
4. Обчислити 4 значення  $lg h_2'$  і побудувати графік залежності  $lg h_2'$  від  $\tau$ . Мірило на обох вісях слід обрати таким, щоб робоча площа графіка становила близько  $100 \times 100 \text{мм}^2$ .
5. Одержати із графіка  $h_2$  і за формулами (3) та (4) обчислити відношення теплоємностей повітря і відносну похибку його вимірювань.



6. Результати роботи занести до табл. 1

Таблиця 1

<i>№ пор.</i>	$\tau, c$	$h_2, мм$	$\lg h_2$	$h_1, мм$	$h_2, мм$	$\gamma$	$E \%$
1							
2							
3							

Зміст звіту: назва і номер лабораторної роботи, схема установки, графік залежності  $\lg h_2$  від  $\tau$ , таблиця результатів роботи.

### КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що називається числом степенів вільності газових молекул і яка середня енергія припадає на одну степінь вільності молекули?
2. Скільки обертальних степенів вільності мають двоатомні і багатоатомні молекули?
3. Дайте визначення внутрішньої енергії ідеального газу і виведіть її формулу.
4. Сформулюйте перший закон термодинаміки.
5. Дайте визначення молярної теплоємності газу при постійному об'ємі та виведіть її формулу.
6. Дайте визначення молярної теплоємності газу при постійному тиску і виведіть її формулу.
7. Виведіть формулу для відношення теплоємностей газів  $C_p / C_v$ .
8. Дайте визначення адіабатного процесу. Які реальні процеси можна приблизно вважати адіабатними?
9. Поясніть термодинамічний зміст універсальної газової сталої.
10. Виведіть формули роботи, яку виконує газ у ізотермічному, ізобарному та адіабатному процесах.

11. Дайте аналіз робочої діаграми і виведіть розрахункову формулу.
12. Відношення теплоємностей газів  $C_p / C_v = 1,40$ . Визначте число степенів вільності газових молекул.
13. Внутрішня енергія ідеального двохатомного ( $i=5$ ) газу дорівнює 3500 Дж. Визначте енергію поступального руху молекул газу.
14. Поясніть, чому газ при швидкому стискуванні нагрівається, а при швидкому розширенні охолоджується?
15. Яка частина наданої газу при ізобарному розширенні кількості теплоти використовується на збільшення внутрішньої енергії?

## **ЛІТЕРАТУРА**

1. Кортнев А.В. Практикум по физике. -М.: Высш. школа, 1971.
2. Яворський Б.М и др. Курс физики. -М.: Высш. школа, 1966,1973
3. Савельев И.В Курс общей физики. -М.: Наука, 1982.

Методичні вказівки щодо виконання лабораторної роботи з навчальної дисципліни **«Фізика»** «Визначення відношення теплоємностей повітря методом адіабатного розширення» (розділ «Механіка і молекулярна фізика») для студентів технічних спеціальностей денної та заочної форм навчання

Укладач: старш. викл. О.І.Лисенко

Відповідальний за випуск зав. кафедри фізики О.І.Єлізаров

Підп. до др. \_\_\_\_\_. Формат 60×84 1/16. Папір тип. Друк ризографія.

Ум. друк. арк. \_\_\_\_\_. Наклад \_\_\_\_\_ прим. Зам. № \_\_\_\_\_. Безкоштовно.

Видавничий відділ

Кременчуцького національного університету

імені Михайла Остроградського

вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600