Міністерство освіти і науки України
Запорізький національний університет
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

Кафедра: _____

Лабораторна робота №2

з дисципліни **Фізика**

Вивчення адіабатичного процесу розширення газів

Студента (ки) _____ курсу, групи _____

_____
(прізвище та ініціали)

Викладач _____*доц.* *Верьовкін Л. Л.*_____

_____
(оцінк, дата, підпис)

м. Запоріжжя – 20___ рік

Мета роботи: визначити відношення теплоємності при постійному тиску від теплоємності при постійному об'ємі для повітря.

$$\frac{C_P}{C_V}$$

1.1 Теоретичні відомості

Перший закон термодинаміки: теплота, що передається системі, витрачається на зміну її внутрішній енергії і на здійснення нею роботи проти зовнішніх сил.

$$dQ = dU + dA$$

При адіабатичному процесі (dQ = 0), I закон термодинаміки має вигляд

$$dA = - dU,$$

тобто зовнішня робота здійснюється за рахунок зміни внутрішньої енергії системи.

Питома теплоємність речовини - величина, рівна кількості теплоти, необхідної для нагрівання **1кг** речовини на **1К.**

$$C = \frac{dQ}{mdT} = \left[\frac{Дж}{кг \cdot К}\right]$$

Рівняння адіабатичного процесу (рівняння Пуассона)

$$PV^{\gamma} = const$$

1.2 Експериментальна установка

Установка для визначення співвідношення $\gamma = \frac{C_P}{C_V}$ зображена на рисунку 2.1.

Скляний балон **Б** при закритому випускному крані **К** і відкритому крані **К1** накачують повітрям до тиску, що дещо перевищує атмосферний. Після цього кран **К1** закривають і дають можливість повітрю прийняти температуру навколишнього середовища (при накачуванні його температура підвищується). При охолоджуванні тиск повітря в балоні зменшується, і через деякий час встановиться рівноважний стан.

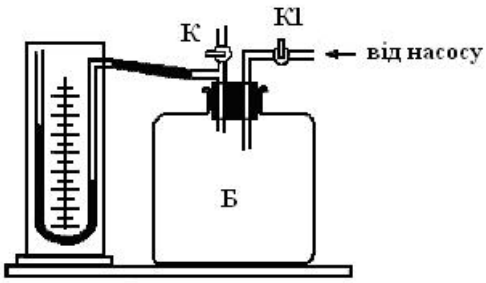

Рисунок 2.1 - Експериментальна установка

Параметри повітря в цьому стані P_1, V_0, T_1, причому

$$P_1 = H_0 + h_1 \qquad (2.1)$$

де V_0 - об'єм судини, T_1 - кімнатна температура, H_0 - атмосферний тиск під час досліджень, h_1 - підвищення тиску в судині над атмосферним в міліметрах стовпа рідини, яка заповнює манометр.

Потім відкривають кран **К** на короткий час (2-3 с), при цьому відбувається процес розширення газу, який близький до адіабатичного. Повітря при розширенні здійснює роботу проти сил зовнішнього тиску за рахунок своєї внутрішньої енергії. Температура його знижується до величини T_2. Параметри газу в цьому стані P_2, V_2, T_2,причому $P_2 = H_0$, $T_2 < T_1$, $V_2 > V_0$. Параметри газу до і після адіабатичного розширення зв'язані рівнянням Пуассона

$$\left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = \frac{T_1}{T_2} \qquad (2.2)$$

Після закінчення процесу адіабатичного розширення кран **К** перекривають. Оскільки температура газу в балоні менша за кімнатну, починається процес теплопередачі, в результаті якого температура, а отже, і тиск газу збільшуються. Кінцевий тиск P3 знаходимо згідно із законом Шарля

$$\frac{P_3}{P_2} = \frac{T_1}{T_2} \qquad (2.3)$$

Розв'язуючи спільно рівняння (2.2) і (2.3), одержимо:

$$\left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = \frac{P_3}{P_2} \qquad (2.4)$$

Враховуючи, що $P_2 = H_0$, $P_1=H_0+h_1$, $P_3=H_0+h_2$, де h_2 - покази манометра після ізохоричного нагрівання повітря в балоні, формула (2.4) прийме вигляд

$$\left(\frac{H_0 + h_1}{H_0}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = \frac{H_0 + h_2}{H_0} \qquad (2.5)$$

Після скорочення на H_0 одержимо

$$\left(1 + \frac{h_1}{H_0}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 1 + \frac{h_2}{H_0} \qquad (2.6)$$

В умовах роботи $h_1 \ll H_0$, так що $h_1/H_0 \ll 1$, тому ліву частину виразу (2.6) розкладемо в ряд Маклорена, і, нехтуючи в ньому всіма членами, які містять h_1/H_0 в ступені, вище першого, одержимо:

$$1 + \frac{\gamma - 1}{\gamma}\frac{h_1}{H_0} = 1 + \frac{h_2}{H_0}$$

звідки випливає формула для обчислення γ:

$$\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_2} \qquad (2.7)$$

Згідно молекулярно-кінематичної теорії теплоємність газів визначається числом ступенів вільності молекул **i**:

$$C_V = \frac{i}{2}R \qquad C_P = \frac{i+2}{2}R$$

Оскільки $\gamma = C_p / C_v$, то по заміряній величині γ можна визначити число ступенів вільності молекул повітря

$$\gamma = \frac{i+2}{2} \qquad i = \frac{2}{\gamma - 1}$$

Число ступенів вільності молекул слід округляти до цілого числа, оскільки за своїм сенсом **i** - ціле число.

1.3 Виконання роботи

1. Повітря в балон накачати до різниці рівнів в манометрі 200 - 250 мм вод.ст. Закрити кран **К1**, почекати, коли рівні води в обох колінах перестануть мінятися (3 – 4хв) і визначити різницю рівнів h_1 (рис. 2.2).

Рисунок 2.2 – Експериментальне визначення різниці рівнів h1

2. Відкрити кран **К**, тримати його відкритим 2 - 3 с. і потім закрити.
3. Після перекриття крану тиск в балоні росте. Коли він встановиться, визначити різницю рівнів h_2 (рис. 2.3).
4. Повторити експеримент не менше 10 разів.
5. У кожному експерименті розрахувати величину γ.

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

6. Знайти середню величину $\bar{\gamma}$.
7. Результати експериментальних досліджень та розрахунків занести в таблицю 2.1.

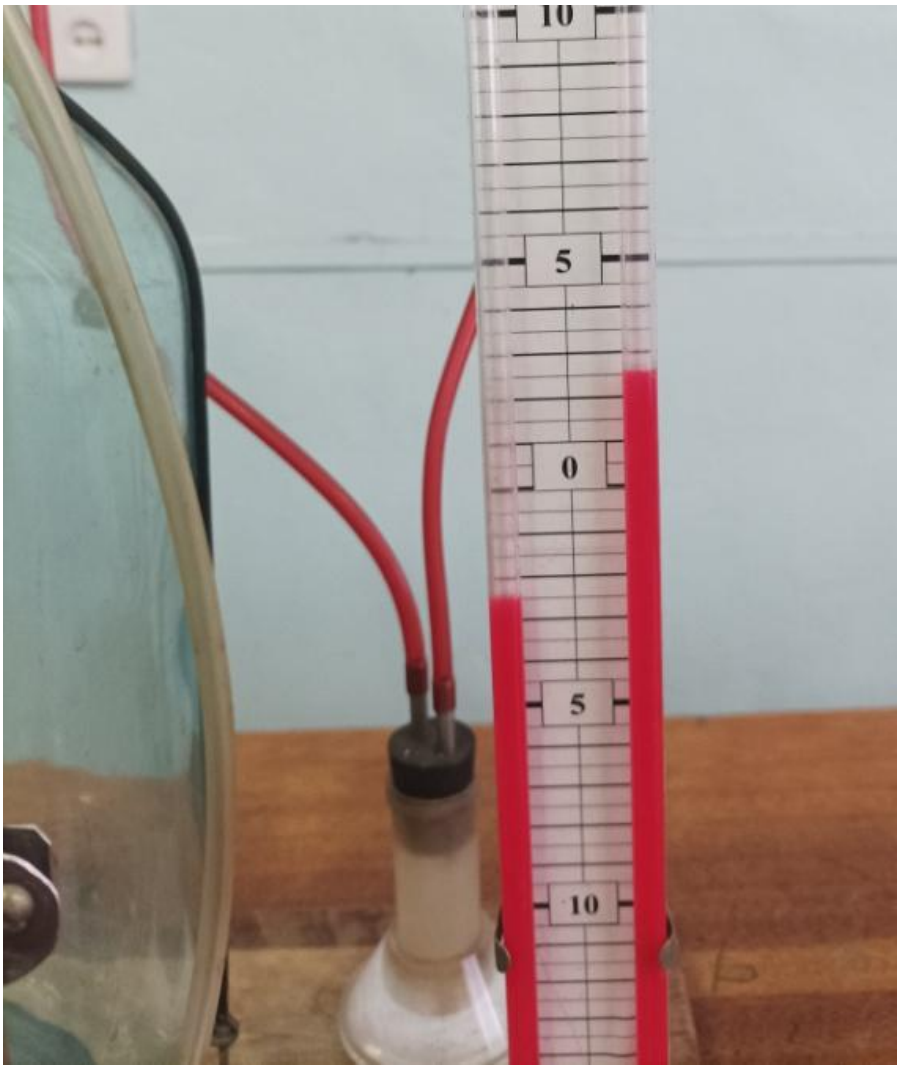

Рисунок 2.3 – Визначення різниці рівнів h_2

Таблиця 2.1 Результати проведення експерименту

$h_{1,\ см}$	$h_{2,\ см}$	γ	$\overline{\gamma}$
26,3	**6,8**		
26,2	**6,7**		
26,01	**6,4**		
26,5	**6,4**		
26,01	**6,02**		
26,4	**6,3**		
26,2	**6,8**		
26,1	**6,7**		
26,4	**6,3**		
26,5	**6,7**		

8. Обчислити число ступенів вільності молекул повітря.

З формули для середньої енергії молекул i - сума числа поступальних, числа обертальних і подвоєного числа коливальних ступенів вільності молекули.

$$i = i_{пост} + i_{оберт} + 2i_{колив}$$

Незалежно від загального числа ступенів вільності молекул три ступеня вільності завжди поступальні.

У класичній теорії розглядають молекули з жорстким зв'язком між атомами, тому число мір вільності коливального руху не враховують.

$$i = i_{пост} + i_{оберт}$$

Повітря майже повністю складається з азоту та кислороду - газів, молекули яких містять по два атоми.

Для двоатомного газу i = 5 (три поступальних і два обертальних).

Рішення. Число ступенів двохатомного газу дорівнює 5. Тому для повітря γ=1.44.

Порівняємо γ з отриманим розрахунковим методом у таблиці $\overline{\gamma}$

9. Зробити висновки за наслідками роботи

Контрольні питання

1. Робота газу в ізопроцесах.
2. Перший закон термодинаміки і його застосування до ізопроцесів.
3. Класична теорія теплоємності газів.
4. Рівняння стану для адіабатичного процесу
5. Число ступенів вільності молекул.
6. Методика визначення величини γ.

Література

1. Цветкова О. В. Курс фізики у визначеннях, прикладах і задачах : навчальний посібник / О. В. Цветкова, В. Г. Єфременко. – Маріуполь : ДВНЗ «ПДТУ», 2018. – 146 с.
2. Конспект з фізики для студентів скороченої форми навчання / О. Крамар. Тернопіль : Центр оперативної поліграфії, 2018. 128 с. URL : http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/27376
3. Лисенко О. В. Розв'язування задач із фізики: електрика та магнетизм: навчальний посібник. / О. В. Лисенко, Г. А.Олексієнко. Суми, Сумський державний університет, 2017 — 287 с.
4. Фізика : підручник / Андріяшик М. В., Король А. М. К. : НУХТ, 2017. 302 с.
5. Посудін Ю. І. Фізика : Підручник для студентів вищих навчальних закладів- К. : Ліра-К, 2016. 472 с.
6. Чолпан П. П. Фізика. / Підручник / К. : Вища школа, 2004, 567 с.
7. Загальний курс фізики. Зб. задач. / Гаркуша І. П., Горбачук І. Т., Курінний В. П. та ін. За заг. ред. проф. І. П. Гаркуші / К : "Техніка", 2003. 560с.
8. Світанько М.В. Фізика. Методичні рекомендації до лабораторних занять для здобувачів вищої освіти першого бакалаврського рівня за спеціальностю 153 «Мікро- та наносистемна техніка» освітньо-професійної програми «Мікро- та наносистемна техніка». Запоріжжя : ЗНУ, 2021. 38 с.