

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

# **Загальна фізика**

## **ВИЗНАЧЕННЯ ВІДНОШЕННЯ ТЕПЛОЄМНОСТЕЙ ПОВІТРЯ ЗА СТАЛИХ ТИСКУ ТА ОБ'ЄМУ**

### **Лабораторний практикум**

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського  
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра  
за освітніми програмами:  
«Електромеханічні системи автоматизації, електропривод та електромобільність»,  
«Електричні машини і апарати»  
спеціальності G3 Електрична інженерія

Укладачі: Г. В. Самар, Е. В. Лук'яненко

Електронне мережеве навчальне видання

Київ  
КПІ ім. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО  
2026

Укладачі:	<i>Самар Ганна Володимирівна, ст. викл. Лук'яненко Едуард Васильович, ст. викл.</i>
Рецензент	<i>Савченко Д.В., доктор фіз.- мат. наук, доцент. Завідувач кафедри ЗФ та МФП ФМФ КПІ ім. Ігоря Сікорського</i>
Відповідальний редактор	<i>Гусєва Ю.І., доктор філософії, старший викладач.</i>

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського  
(протокол № 5 від 05.03.2026 р.)  
за поданням вченої ради фізико- математичного факультету  
(протокол № 1 від 11.02.2026 р.)*

314 **Загальна фізика. Визначення відношення теплосмностей повітря за сталих тиску та об'єму** [Електронний ресурс] : лаб. практикум : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освіт. програмами «Електромеханічні системи автоматизації, електропривод та електромобільність», «Електричні машини і апарати», спеціальності G3 Електрична інженерія / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Г. В. Самар, Е. В. Лук'яненко. – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2026. – 11 с.

В посібнику викладено основні теоретичні відомості, наведено методичні вказівки до виконання лабораторної роботи. Також запропоновано контрольні запитання для перевірки знань. Методичний матеріал до лабораторної роботи призначені для здобувачів освіти ступеня бакалавр за спеціальністю G3 Електрична інженерія. Посібник також може бути корисним для науково-педагогічних працівників під час планування та підготовки до лабораторних робіт з навчальної дисципліни « Загальна фізика»

УДК 53.02:533.1

Реєстр. № НП 25/26-220. Обсяг 0,5 авт. арк.

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
проспект Берестейський, 37, м. Київ, 03056  
<https://kpi.ua>

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

## Лабораторна робота № Т7

### ВИЗНАЧЕННЯ ВІДНОШЕННЯ ТЕПЛОЄМНОСТЕЙ ПОВІТРЯ ЗА СТАЛИХ ТИСКУ ТА ОБ'ЄМУ

**Мета роботи** – вивчення процесів в ідеальних газах, визначення відношення теплоємностей  $\gamma = \frac{C_P}{C_V}$ .

#### Теорія методу

**Питомою теплоємністю речовини** називається величина, що дорівнює кількості теплоти, яку потрібно надати одиниці маси речовини для підвищення її температури на один Кельвін,

$$c = \frac{dQ}{m dT} \quad (7.1)$$

Теплоємність одного моля речовини називається **молярною теплоємністю**:

$$C = \mu c = \frac{dQ}{\frac{m}{\mu} dT} \quad (7.2)$$

де  $m$  – маса;  $\mu$  – молярна маса речовини.

Теплоємність газів залежить від умов, за яких відбувається їх нагрівання. Згідно з першим законом термодинаміки кількість теплоти  $dQ$ , надана системі, витрачається на збільшення внутрішньої енергії  $dU$  та на виконання системою роботи  $dA$  проти зовнішніх сил:

$$dQ = dU + dA \quad (7.3)$$

Приріст внутрішньої енергії ідеального газу при зміні його температури на  $dT$

$$dU = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R dT \quad (7.4)$$

де  $i$  – число ступенів вільності молекули, під яким розуміється число незалежних координат, які визначають положення молекули в просторі:  $i = 3$  для одноатомної молекули;  $i = 5$  для двоатомної молекули;  $i = 6$  для трьох- та багатоатомних молекул;  $R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$  – універсальна газова стала.

При розширенні газу система виконує роботу

$$dA = p dV \quad (7.5)$$

Якщо газ нагрівається за сталого об'єму  $V = const$ , то  $dA = 0$  і відповідно до (7.3) вся отримана газом кількість теплоти витрачається тільки на збільшення його внутрішньої енергії  $dQ = dU$  і, отже, враховуючи (7.5), молярна теплоємність ідеального газу за сталого об'єму

$$C_T = \frac{dU}{dT} = \frac{i}{2} R \quad (7.6)$$

Якщо газ нагрівається за сталого тиску  $P = const$  то отримана газом кількість теплоти витрачається на збільшення внутрішньої енергії  $dU$  та виконання роботи  $dA$ :

$$dQ_P = dU + dA$$

Тоді молярна теплоємність ідеального газу за сталого тиску

$$C_P = \frac{dU}{dT} + P \left( \frac{dV}{dT} \right)_P \quad (7.7)$$

Використовуючи рівняння стану ідеального газу (рівняння Менделєєва-Клапейрона),

$$PV = \frac{m}{\mu} RT$$

можна довести, що для моля газу

$$P \left( \frac{dV}{dT} \right)_P = R$$

і, отже,

$$C_P = C_V + R = \frac{i+2}{2} R \quad (7.8)$$

Відношення теплоємностей:

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{i+2}{i} \quad (7.9)$$

**Адіабатичний процес** відбувається без теплообміну із зовнішнім середовищем ( $dQ = 0$ ). Практично він може бути здійсненим у системі, що оточена теплоізолюючою оболонкою, але оскільки для теплообміну потрібен деякий час, то адіабатичним можна вважати також процес, який відбувається досить швидко, так, що система не встигає вступити в теплообмін із навколишнім середовищем. Перший закон термодинаміки з урахуванням (7.4), (7.5) та (7.6) для адіабатичного процесу має вигляд

$$\frac{m}{\mu} C_V dT = -PdV \quad (7.10)$$

Диференціюючи рівняння Менделєєва-Клапейрона

$$PdV + VdP = \frac{m}{\mu} R dT$$

і підставивши  $dT$  до формули (7.10), дістанемо:

$$(C_V + R)PdV + C_V VdP = 0$$

Враховуючи співвідношення між молярними теплоємностями ідеального газу за сталих тиску та об'єму, яке описується формулою Майєра (7.8), а також (7.9), маємо

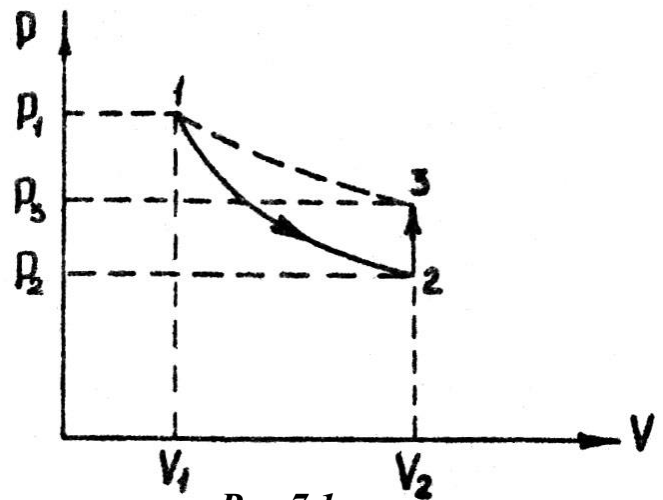
$$\gamma \frac{dV}{V} + \frac{dP}{P} = 0.$$

Розв'язок записаного диференціального рівняння має вигляд

$$PV^\gamma = \text{const} \quad (7.11)$$

Рівняти (7.11) називається рівнянням адіабати (рівнянням Пуассона), а введена в (7.9) величина  $\gamma$  – показником адіабати.

Метод визначення показника адіабати, запропонований Клеманом і Дезормом (1819р.), ґрунтується на вивченні параметрів деякої маси газу, яка переходить з одного стану в інший двома послідовними процесами – адіабатичним та ізохоричним. Ці процеси на діаграмі  $P \sim V$  (Рис.7.1) зображені відповідно кривими 1-2



та 2-3. Якщо в балон, з'єднаний з відкритим водяним манометром, накачати повітря і почекати до встановлення теплової рівноваги з навколишнім середовищем, то в цьому початковому стані (1) газ має параметри  $P_1, V_1, T_1$ , причому температура газу в балоні дорівнює температурі навколишнього середовища  $T_1 = T_0$ , а тиск  $P = P_0 + P'$  трохи більший від атмосферного тиску.

Якщо тепер на короткий час з'єднати балон з атмосферою, то станеться адіабатичне розширення повітря. При цьому стан повітря в балоні відповідає стану 2, а тиск газу знижується до атмосферного  $P_2 = P_0$ . Маса повітря, що залишається у балоні, яка в стані 1 займала частину об'єму балона,

розширюючись, займає весь об'єм  $V_2$ . При цьому температура повітря, що залишається у балоні, знижується до  $T_2$ . Оскільки процес 1-2 є адіабатичним, до нього можна застосувати рівняння Пуассона (7.11):

$$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma \quad \text{або} \quad \frac{T_1^\gamma}{P_1^{(\gamma-1)}} = \frac{T_2^\gamma}{P_2^{(\gamma-1)}}.$$

Звідки

$$\left(\frac{P_0+P'}{P_0}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{T_0}{T_2}\right)^\gamma \quad (7.12)$$

Після короткочасного з'єднання балона з атмосферою охолоджене адіабатичним розширенням повітря в балоні буде нагріватись (процес 2-3) до температури навколишнього середовища  $T_3 = T_0$  за сталого об'єму ( $V_3 = V_2$ ). При цьому тиск у балоні підвищиться до  $P_3 = P_2 + P''$ . Оскільки процес 2-3 є ізохоричним, то для нього можна застосувати закон Шарля:

$$\frac{P_2}{T_2} = \frac{P_3}{T_3}$$

звідки

$$\frac{P_0+P''}{P_0} = \frac{T_0}{T_2} \quad (7.13)$$

З рівнянь (7.12) та (7.13) маємо:

$$\left(\frac{P_0+P'}{P_0}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{P_0+P''}{P_0}\right)^\gamma.$$

Логарифмуємо останній вираз:

$$(\gamma - 1) \ln \left(1 + \frac{P'}{P_0}\right) = \gamma \ln \left(1 + \frac{P''}{P_0}\right)$$

Оскільки надлишкові тиски  $P'$  та  $P''$  дуже малі в порівнянні з атмосферним тиском  $P_0$ , то враховуючи, що при  $x \ll 1$ ,  $\ln(1+x) = x$ , отримаємо:

$$(\gamma - 1)P' = \gamma P''$$

звідки

$$\gamma = \frac{P'}{P' - P''} \quad (7.14)$$

Надлишкові тиски повітря  $P'$  та  $P''$  вимірюють за допомогою  $U$ -подібного манометра за різницею рівнів рідини з густиною  $\rho$ :

$$P' = \rho gH, \quad P'' = \rho gh \quad (7.15)$$

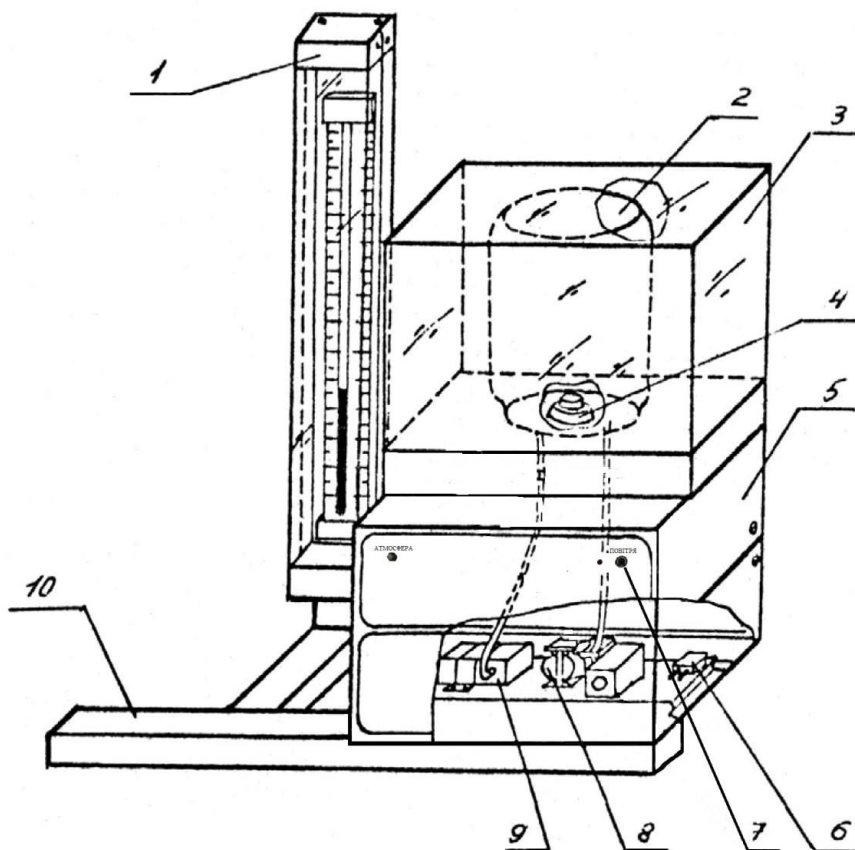
З (3.14) та (3.15) дістанемо розрахункову формулу для визначення  $\gamma$ .

$$\gamma = \frac{H}{H-h} \quad (7.16)$$

### Експериментальна установка

Для визначення відношення теплоємностей повітря  $\gamma = \frac{C_P}{C_V}$  призначена експериментальна установка ФПТ 1-6, загальний вигляд якої показаний на Рис .7.2

Установка складається із скляної колби (2), з'єднаної з відкритим водяним манометром (1). Повітря нагнітається в колбу мікрокомпресором (9), розміщеним у блоці приладів (5). Вмикається мікрокомпресор тумблером "ПОВІТРЯ"(7), який знаходиться на передній панелі блока приладів. Кран (4), що приводиться в дію за кнопкою "АТМОСФЕРА", виведеною на передню панель блока приладів, дозволяє з'єднувати колбу з атмосферою при її натисканні.



Решта позицій на рис.7.2 означає: 3 – блок робочого елемента; 6 – блок живлення; 8 – трансформатор; 10 – стояк.

### Порядок виконання роботи

1. Увімкнути установку тумблером "ВКЛ/ВИМК".
2. Ввімкнути подачу повітря в колбу тумблером "ПОВІТРЯ".
3. За допомогою манометра контролювати тиск у колбі. Коли різниця рівнів води в манометрі досягне 150...250 мм вод. ст., вимкнути подачу повітря.
4. Почекати 2...3 хв., доки температура повітря в колбі зрівняється з температурою навколишнього повітря  $T_0$ , у колбі при цьому встановиться сталий тиск  $P_1 = P_0 + \rho gH$ . Визначити різницю рівнів  $H$ , яка встановилася в колінах манометра, і отримане значення занести до Табл.7.1
5. На короткий час з'єднати колбу з атмосферою, натиснувши кнопку „АТМОСФЕРА”.
6. Почекати 2...3 хв. доки в колбі встановиться сталий тиск  $P_3 = P_0 + \rho gh$ . Визначити різницю рівнів  $h$ , яка встановилася в колінах манометра, і отримане значення занести до Табл. 7.1.
7. Повторити виміри за пп.2-6 не менш як 10 разів для різних значень величини  $H$ .
8. Вимкнути установку тумблером "ВКЛ/ВИМК".
9. Виміряти температуру та атмосферний тиск в лабораторії.

### Обробка результатів вимірювань

1. Для кожного виміру визначити за формулою (7.16) відношення теплоємностей  $\gamma$ . Знайти середнє значення  $\langle \gamma \rangle$ .
2. Розрахувати  $\gamma$  за формулою (7.9), вважаючи повітря сумішшю двохатомних газів. Порівняйте зі значенням, отриманим за допомогою експерименту.
3. Використовуючи різницю рівнів рідини в манометрі для першого досліду знайти тиск повітря в балоні.
4. Визначити густину повітря з табл. Д.1 для знайдених значень температури і тиску в балоні.

5. Розрахувати значення молярної маси повітря за формулою  $\mu = \frac{\rho RT}{P_1}$ .  
Порівняти отримане значення з довідниковим  $\mu = 29 \cdot 10^{-3}$  кг/моль.
6. Оцінити середньоквадратичне відхилення вимірювання  $S_\gamma$  та відносну похибку  $\varepsilon$ .
7. Записати кінцевий результат у вигляді  $\gamma = \langle \gamma \rangle \pm t_{\alpha, n} \cdot S_\gamma$ . Для коефіцієнта довіри взяти значення  $\alpha = 0,9$ .

Таблиця 7.1

№ виміру	$H$ , мм вод. ст.	$h$ , мм вод. ст.	$\gamma$	$\Delta\gamma = \langle \gamma \rangle - \gamma_i$	$\Delta\gamma^2$
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
			$\langle \gamma \rangle =$	-	$\sum_{i=1}^n \Delta\gamma^2_i =$

### Контрольні запитання

1. Що таке ізопроцеси і яким законам вони підпорядковуються? Накреслити графіки цих процесів.
2. Сформулюйте перший закон термодинаміки. Запишіть цей закон для ізобаричного, ізохоричного, ізотермічного та адіабатичного процесів.
3. Дайте визначення питомої та молярної теплоємностей. В яких одиницях СІ вони вимірюються?

4. Особливості теплоємності газу. Виведіть формулу для молярних теплоємностей  $C_V$  та  $C_P$  ідеального газу.
5. Дайте визначення числа ступенів вільності молекули. Чому дорівнює величина  $i$  для 1-, 2-, 3- та багатоатомного ідеальних газів?
6. Який процес називається адіабатичним? Виведіть рівняння Пуассона.
7. Розрахуйте теоретичне значення показника адіабати для 1-, 2- та 3- атомного ідеальних газів.
8. У чому полягає метод Клемана та Дезорма для визначення відношення  $\frac{C_P}{C_V}$ .
9. Опишіть робочий цикл експериментальної установки за P-V діаграмою.
10. Виведіть розрахункову формулу для визначення  $\gamma$ .
11. Як і чому змінюється температура газу в колбі при проведенні досліду?
12. Як позначаються на результатах експерименту надто швидке та надто повільне переміщення рукоятки крана при проведенні досліду?
13. Яким чином на результати досліду впливає наявність водяної пари в балоні.

#### **Рекомендована література:**

1. І.М. Кучерук, І.Т. Горбачук, П.П. Луцик. Загальний курс фізики. Том 1. Механіка. Молекулярна фізика. Київ: Техніка. 2004 р. 536с.
2. Волков О.Ф., Лумпієва Т.П. Курс фізики: У 2-х т. Т.1: Фізичні основи механіки. Молекулярна фізика і термодинаміка. Електростатика. Постійний струм. Електромагнетизм: Навчальний посібник для студентів інженерно технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. — Донецьк: ДонНТУ, 2009. — 224 с.

#### **Використані джерела:**

1. [https://kzf.kpi.ua/wp-content/uploads/2021/09/Lab\\_rob\\_T7-319-1.pdf](https://kzf.kpi.ua/wp-content/uploads/2021/09/Lab_rob_T7-319-1.pdf)
2. Яворський Б. М., Детлаф А. А., Лебедев А. К. Довідник з фізики для інженерів та студентів вищих навчальних закладів / Переклад з 8-го переробл. і випр. вид. — Т. : Навчальна книга — Богдан, 2007. — 1040 с.

## Додаток 1

Таблиця Д.1 Залежність густини  $\rho$  повітря від тиску  $P$  і температури  $t$

$P, \text{кПа} \backslash t, \text{C}$	96	97	90	99	.100	101	101,3	102	103
14	1,165	1,177	1,189	1,201	1,213	1,225	1,229	1,238	1,250
16	1,157	1,169	1,181	1,193	1,205	1,217	1,221	1,229	1,241
18	1,149	1,161	1,173	1,185	1,200	1,209	1,212	1,221	1,232
20	1,141	1,153	1,165	1,177	1,188	1,200	1,204	1,212	1,224
22	1,133	1,145	1,157	1,169	1,180	1,192	1,196	1,204	1,216
24	1,126	1,137	1,149	1,161	1,172	1,184	1,188	1,196	1,208
26	1,118	1,130	1,141	1,153	1,165	1,176	1,130	1,188	1,200