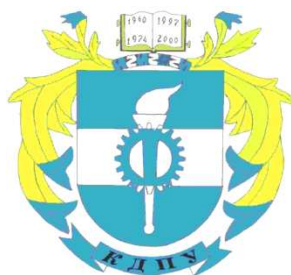


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ЩОДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ
З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ «ФІЗИКА»
«ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА В'ЯЗКОСТІ ТА СЕРЕДНЬОЇ
ДОВЖИНИ ВІЛЬНОГО ПРОБІГУ МОЛЕКУЛ ПОВІТРЯ»
(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 коефіцієнта в'язкості та середньої довжини вільного пробігу молекул повітря» (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 1-8

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА В'ЯЗКОСТІ ТА СЕРЕДНЬОЇ ДОВЖИНИ ВІЛЬНОГО ПРОБІГУ МОЛЕКУЛ ПОВІТРЯ

ТЕМА РОБОТИ Явища переносу в газах.

МЕТА РОБОТИ Вивчення явищ переносу в газах, експериментальне визначення коефіцієнту в'язкості повітря і середньої довжини вільного пробігу молекул повітря.

ТЕХНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ

Металевий балон з манометром і краном, насос, мікрометр, гнучкі шланги, скляний капіляр на штативі, секундомір, термометр.

1 ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ

Для опису хаотичного руху молекул газів використовують три швидкості: середню квадратичну, яка визначає середню енергію поступального руху молекул, найбільш імовірну, яка відповідає максимуму функції розподілу Максвелла, та середню арифметичну:

$$\langle V_{KB.} \rangle = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}, \quad V_{IM} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}, \quad \langle V \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\mu}} \quad (1)$$

Хаотичний характер руху молекул газів зумовлюють явища перенесення: дифузія (переміщення маси), внутрішнє тертя (перенесення імпульсу) та теплопровідність (перенесення кількості теплоти).

Розглянемо два шари газу 1 і 2 (рис. 1) з густиною ρ_1 і ρ_2 , які торкаються по поверхні dS .

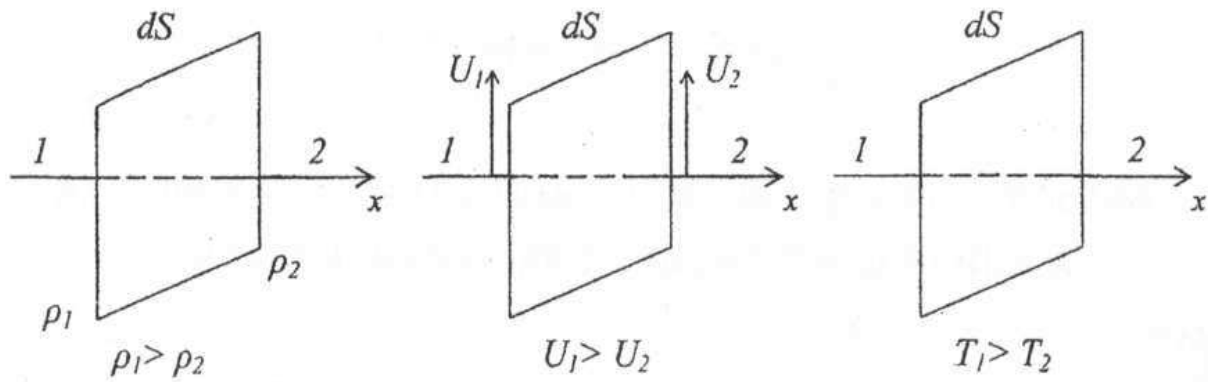


Рис. 1

Молекули шару 1 рухаються хаотично і частина їх переходить до шару 2. Перехід кожної молекули супроводжується перенесенням маси молекул. Молекули шару 2 також рухаються хаотично і частина їх переходить у шар 1. При однакових значеннях густини шарів переходи в обох напрямках рівно ймовірні і перенесення маси в обох напрямках однакове. Якщо ж $\rho_1 > \rho_2$, то переважає перенесення маси у напрямку зменшення густини. Масу dM речовини, яка продифундувала за час dt , визначають за рівнянням дифузії:

$$dM = -D \frac{d\rho}{dx} dS dt, \quad (2)$$

де $d\rho/dx$ - градієнт густини, D - макроскопічний коефіцієнт дифузії.

Якщо два шари газу рухаються з різними швидкостями V_1 і V_2 (вважаємо, що $V_1 > V_2$), то хаотичний рух молекул обох шарів зумовлює перенесення імпульсу в напрямку зменшення швидкості (див. рис.1). З

феноменологічної точки зору між шарами газу виникає тертя, внаслідок якого шар 1 уповільнюється, а шар 2 прискорюється. Рівняння перенесення імпульсу dP :

$$dP = -\eta \frac{dv}{dx} dS dt \quad (3)$$

або сила тертя між шарами повітря:

$$F = -\eta \frac{dv}{dx} dS \quad (4)$$

де dv/dx - градієнт швидкості, а η - коефіцієнт в'язкості, який також називають коефіцієнтом внутрішнього тертя.

При різних температурах шарів газу (вважаємо, що $T_1 > T_2$), внаслідок хаотичного руху молекул шарів газу, відбувається перенесення кількості теплоти (див. рис.1). Рівняння теплопровідності:

$$dQ = -\lambda \frac{dT}{dx} dS dt, \quad (5)$$

де dT/dx - градієнт температури, λ - коефіцієнт теплопровідності.

Перенос кількості теплоти відбувається у напрямку зменшення температури. Макроскопічні коефіцієнти явищ перенесення залежать від молекулярно-кінетичних параметрів:

$$D = \frac{1}{3} \langle V \rangle \langle l \rangle, \quad \eta = \frac{1}{3} \langle V \rangle \langle l \rangle \rho, \quad \lambda = \frac{1}{3} \langle V \rangle \langle l \rangle \rho C_V, \quad (6)$$

де $\langle l \rangle$ - середня довжина вільного пробігу молекул газу;

C_V - питома теплоємність газу при постійному об'ємі.

Середня довжина вільного пробігу молекул залежить від ефективного діаметру молекули d й кількості молекул в одиниці об'єму газу n_o :

$$\langle l \rangle = \frac{1}{\sqrt{2} \pi d^2 n_o} \quad (7)$$

2 МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ

Один з методів експериментального визначення коефіцієнта в'язкості газів базується на проникненні газів крізь капіляри. Шар газу найближчий до стінок капіляра нерухомий, а швидкість шару газу на вісі капіляра найбільша. Між шарами газу в капілярі виникає тертя. Об'єм V газу, який протікає крізь капіляр завдовжки l_0 за час t , визначають за формулою Пуазейля:

$$V = \frac{\pi r^4 \Delta p t}{8 l_0 \eta} \quad (8)$$

де r - радіус капіляра,

Δp - різниця тисків на кінцях капіляра. З формули Пуазейля одержуємо:

$$\eta = \frac{\pi r^4 \Delta p t}{8 l_0 V} \quad (9)$$

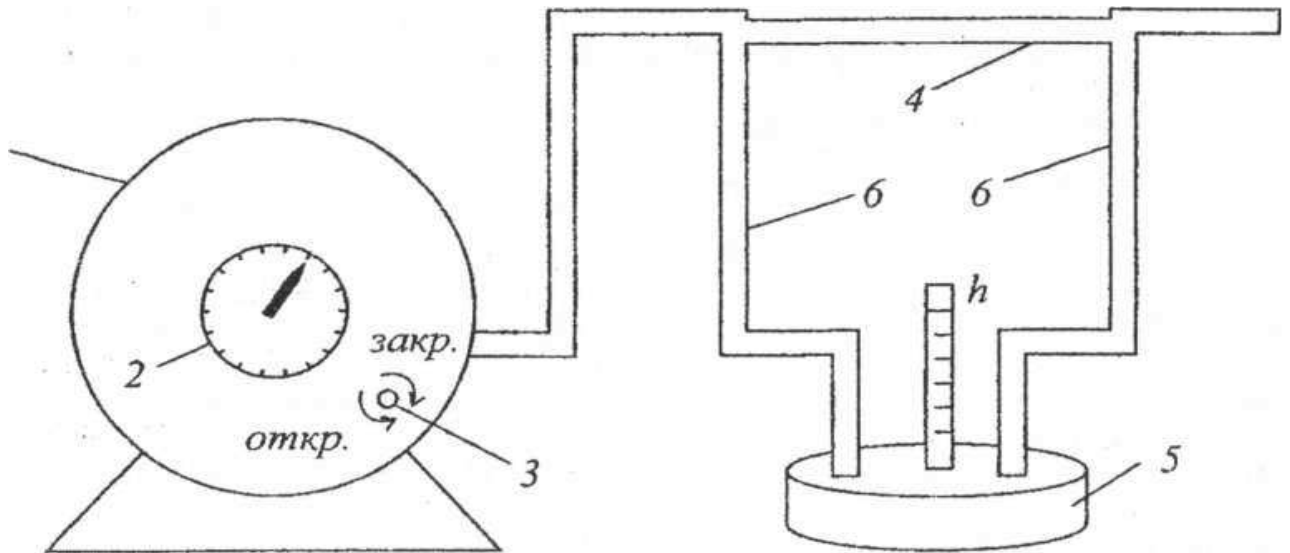


Рис. 2

Установка для визначення коефіцієнта в'язкості повітря показана на рис.2. Вона складається з балону 1, який заповнений повітрям при надмірному тиску, манометру 2 та мікроманометру 5. Балон через капіляр 4 сполучається з атмосферою за допомогою крана 3. Капіляр, балон і мікроманометр з'єднуються шлангами 6. Величини l_0 , η , t можна визначити безпосередніми вимірами. Щоб не враховувати об'єм газу, який протікає через капіляр, у формулі (9), до повітря, яке знаходиться в балоні, застосуємо рівняння Менделєєва-Клапейрона до дослідів і після нього:

$$\rho_1 V_b = \frac{m_1}{\mu} \cdot RT, \quad \rho_2 V_b = \frac{m_2}{\mu} \cdot RT \quad (10)$$

і знаходимо із системи рівнянь масу повітря, яке протікає крізь капіляр:

$$m_1 - m_2 = (\rho_1 - \rho_2) \frac{V_b \mu}{RT} \quad (11)$$

де p_1 і p_2 . - тиск повітря у балоні до початку дослідів і після нього. Об'єм повітря, яке протікає крізь капіляр:

$$V = \frac{m_1 - m_2}{\rho} = \frac{p_1 - p_2}{\rho} \cdot \frac{V_b \mu}{RT} \quad (12)$$

Густина повітря:

$$\rho = \frac{P\mu}{RT} \quad (13)$$

де P - атмосферний тиск.

Коефіцієнт в'язкості повітря (9):

$$\eta = \pi r^4 p \Delta p t / 8 l_0 V_0 (\rho_1 - \rho_2) \quad (14)$$

Різницю тисків на кінцях капіляра вимірюють спиртовим мікроманометром:

$$\Delta p = 0,8 \rho_p g h \quad (15)$$

де h - покази мікроманометра, а $0,8$ - нахил мікроманометра. Візьмемо до уваги, що: $\rho_p = 0,790 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$, $l_0 = 0,100 \text{ м}$.

Тоді розрахункову формулу можна подати у вигляді:

$$\eta = 2,43 \cdot 10^3 \frac{\rho}{\rho_1 - \rho_2} \frac{r^4 h t}{V_0} \quad (16)$$

Визначення відносної похибки вимірювання ускладнене, тому що капіляр впаяний у скляну трубку, і вірогідність визначення коефіцієнта в'язкості може бути оцінена порівнянням його з табличним значенням. За знайденим з досліду значенням коефіцієнта в'язкості та за формулою (6) можна визначити середню довжину вільного пробігу молекул повітря:

$$\langle l \rangle = \frac{3\eta}{\rho \langle \sigma \rangle} \quad (17)$$

Середню арифметичну швидкість молекул повітря обчислюють за формулою (1), при обчисленнях приймати:

$$R = 8,31 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}, \quad \mu = 2,86 \cdot 10^{-2} \text{ кг/моль}, \quad \rho = 1,20 \text{ кг/м}^3.$$

Температуру повітря вимірюється термометром, радіус капіляра вказано на приладі.

3 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Перед виконанням роботи слід уважно ознайомитись з установкою. Повітря у балон вже накачане, тиск повітря показує манометр 2. Особливо крихким елементом установки є капіляр 4. Мікроманометр 5 - прилад досить чутливий, тому кран 3 слід відкривати обережно і не повністю. Виконавець роботи під час відкривання крану 3 повинен дивитись на шкалу мікроманометра і при досягненні різниці тисків 150-170 мм шкали зняти зусилля з головки крану 3.

1. У присутності викладача обережно відкрити кран 3 до різниці тисків на кінцях капіляра 150-170 мм. Слідкувати за показами манометра 2 і у момент проходження стрілкою його поділки шкали пустити секундомір. Зафіксувати покази h за мікроманометром і тиску p - за манометром. Слідкувати за показами обох приладів і після зменшення показань манометра на 0,1 атмосфери зупинити секундомір і закрити кран 3. Якщо рівень h за час досліду змінився, до розрахункової формули слід підставити його середнє значення за показами мікроманометра на початку та у кінці досліду.

2. Описаний вище дослід повторити ще 2 рази.

3. За формулою (16) обчислити три значення η . Значення об'єму балона вказане на установці. Атмосферний тиск $p=1\text{атм.}$, різницю тисків ($p_1 - p_2$) доцільно залишити в атмосферах. Обчислити середнє значення коефіцієнта в'язкості повітря.

4. За формулою (1) обчислити середню арифметичну швидкість молекул повітря.

5. Середню довжину вільного пробігу молекул обчислити за формулою (17), підставляючи замість η його середнє значення.

6. Результати роботи занести до табл. 1.

Таблиця 1

№ пор.	h , м	t , с	$p_1 - p_2$, атм	η , Па·с	$\langle \eta \rangle$, Па·с	r , м	V , м ³ /с	$\langle l \rangle$, м
1								
2								
3								

Зміст звіту: назва і номер лабораторної роботи, розрахункові формули, таблиця результатів роботи.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що називають середньою довжиною вільного пробігу молекул і від яких величин вона залежить?
2. Що характеризують середня квадратична і найбільш імовірна швидкості молекул?
3. Чим обумовлені явища перенесення у газах? Поясніть рівняння явищ перенесення?
4. Дайте молекулярно-кінетичне пояснення явищ переносу у газах.
5. Виведіть зв'язок між коефіцієнтами явищ перенесення у газах.
6. Виведіть формулу густини газу з рівняння Менделєєва-Клапейрона.
7. Виведіть розрахункову формулу для визначення коефіцієнта в'язкості повітря.
8. Як зміниться середня довжина вільного пробігу молекул газу, якщо тиск його збільшиться у 2 рази, а температура залишиться незмінною?
9. Балон об'ємом 100л містить кисень при температурі 2°C. Коли частину кисню витратили, тиск у балоні знизився на $0,5 \cdot 10^5$ Па. Визначити масу використаного кисню. Температура у балоні не змінюється, $\mu = 0,032$ кг/моль, $R = 8,31$ Дж/моль·К.
10. Середня квадратична швидкість молекул газу дорівнює 500 м/с. Визначити найбільш імовірну швидкість молекул газу.
11. Густина газу $6 \cdot 10^{-2}$ кг/м³, середня квадратична швидкість його молекул 500 м/с. Визначити тиск газу на стінки балона.

ЛІТЕРАТУРА

1. Яровский Б.М. и др. Курс физики. - М.: Высш. школа, 1973, т.1, 9.1-9.2
2. Савельев И.В. Курс общей физики. - М.: Наука, 1982, т.1, с.80,85,86.

Методичні вказівки щодо виконання лабораторної роботи з навчальної дисципліни «Фізика» «Визначення коефіцієнта в'язкості та середньої довжини вільного пробігу молекул повітря» (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