

**ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ
ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

Кафедра фізики

**ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ З ФІЗИКИ:
МЕХАНІКА ТА МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА**

Харків – 2018

Лабораторний практикум розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри фізики 30 серпня 2017 р., протокол № 1.

Описано лабораторні роботи з фізики за темою «Механіка та молекулярна фізика» відповідно до чинної програми. Виконання лабораторної роботи включає попередню підготовку, проведення експериментів і складання звіту про результати досліджень. При підготовці до виконання роботи необхідно вивчити відповідні теоретичні відомості, опис лабораторної установки й методи вимірювань, дотримуватися зазначеного порядку виконання експериментальної й розрахункової частин роботи. При проведенні експериментів необхідно виконувати всі встановлені в лабораторії правила техніки безпеки. Контрольні питання, наведені в кожній роботі, полегшують підготовку до її захисту.

Цей лабораторний практикум призначено для студентів усіх спеціальностей, що вивчають курс «Загальна фізика», денної та заочної форм навчання.

Укладач

асист. Л. М. Руда

Рецензент

доц. А. Т. Котвицький

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ З ФІЗИКИ:

МЕХАНІКА ТА МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА

Відповідальний за випуск Руда Л. М.

Редактор Еткало О. О.

Підписано до друку 28.03.17 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 1,75. Тираж 50. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,

61050, Харків-50, майдан Фейербаха, 7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Лабораторна робота 4.....	5
Лабораторна робота 6.....	10
Лабораторна робота 7.....	14
Лабораторна робота 11.....	22
Лабораторна робота 13.....	29
Лабораторна робота 23.....	34
Лабораторна робота 26.....	38
Лабораторна робота 28.....	42
Лабораторна робота 29.....	49

ВСТУП

«Лабораторний практикум з фізики: Механіка та молекулярна фізика» містить опис лабораторних робіт з курсу загальної фізики за темою «Механіка та молекулярна фізика». До складу методичних вказівок увійшли лабораторні роботи, які виконуються на кафедрі «Фізика» УкрДУЗТ.

Лабораторні заняття є одним із основних напрямків навчальної роботи. Їх призначення – допомогти студентам пізнати сутність фізичних явищ, глибше усвідомити фізичні закони, ознайомитися з методами фізичного експерименту, навчитися обробляти експериментальні результати.

Описи робіт складені таким чином, що студенти мають змогу цілком самостійно виконати кожен лабораторну роботу: є теоретичні відомості, опис лабораторної установки, методи вимірювання, порядок виконання експериментальної та розрахункової частин роботи. У кожній роботі наведено контрольні питання, відповіді на які містяться в описі роботи.

Студенти повинні ретельно готуватися до виконання лабораторних робіт. При підготовці необхідно:

1) вивчити теорію досліджуваного явища за підручником, конспектом лекцій і навчальним посібником, орієнтуючись на контрольні питання;

2) коротко законспектувати зміст роботи, математичні викладки, зарисувати акуратно й розбірливо схему установки і заготовити таблицю для занесення результатів експерименту. Звіт з лабораторної роботи оформляється на окремих аркушах.

Перед виконанням лабораторної роботи студент представляє викладачеві, що проводить лабораторне заняття, проект звіту з коротким описом майбутньої роботи. Отримавши допуск, він ознайомлюється з установкою і приступає до виконання роботи. Результати вимірів записуються в таблицю в одній міжнародній системі одиниць (СІ). Робота вважається виконаною, якщо викладач позитивно оцінює отримані результати. Виконана й оформлена робота повинна бути здана викладачеві для поточного оцінювання.

Лабораторна робота 4 ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ КУЛІ ЗА ДОПОМОГОЮ БАЛІСТИЧНОГО МАЯТНИКА

Мета роботи: вивчення абсолютно непружного зіткнення тіл.

Прилади і матеріали: лабораторна установка для визначення швидкості польоту кулі, технічні ваги, лінійка, тіла різних мас (кулі).

Теоретичні відомості

Лабораторна установка для дослідження абсолютно непружного зіткнення тіл (рисунок 4.1, а) складається з балістичного маятника (масивне тіло 1, підвішене на біфілярному підвісі 2), пружинної гарматки 3, з якої вилітає куля 4, та закріпленої лінійки 5, за допомогою якої візуально вимірюється відхилення s балістичного маятника від положення рівноваги (рисунок 4.1, б).

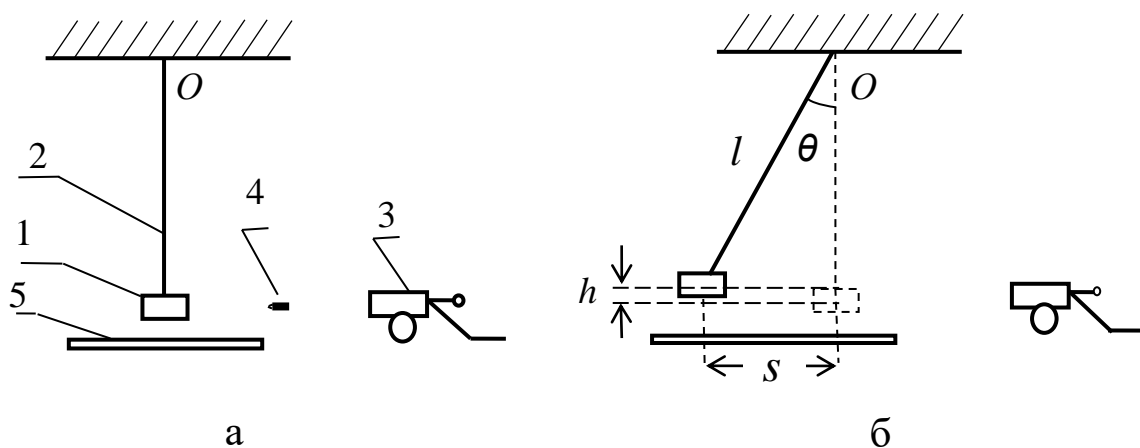


Рисунок 4.1

Після пострілу куля потрапляє в балістичний маятник, наповнений пластиліном, і застряє в ньому. Маятник відхиляється від вертикалі на кут θ , а його центр мас переміщується в горизонтальному напрямку на відстань s (рисунок 4.1, б).

Перед зіткненням імпульс замкненої системи тіл – „куля-маятник” – дорівнює імпульсу кулі

$$p_1 = mv, \tag{4.1}$$

де m – маса кулі, v – її швидкість. Після удару, коли куля застрягне в маятнику, останній почне рухатися зі швидкістю V . Імпульс системи „куля-маятник” p_2 буде дорівнювати:

$$p_2 = (M + m)V, \quad (4.2)$$

де M – маса маятника. Виходячи із закону збереження імпульсу запишемо:

$$mv = (M + m)V. \quad (4.3)$$

При відхиленні на кут θ центр мас маятника піднімається на висоту h . При цьому кінетична енергія системи „куля-маятник”, що у нижній точці дорівнює $(M + m)V^2/2$, перетворюється в потенціальну енергію $(M + m)gh$:

$$\frac{(M + m)V^2}{2} = (M + m)gh, \quad (4.4)$$

де g – прискорення вільного падіння.

Розв’язавши спільно рівняння (4.3) та (4.4), одержимо $v = \frac{M + m}{m} \sqrt{2gh}$.

Ураховуючи те, що маса маятника M набагато перевищує масу кулі ($M \gg m$), можна записати:

$$v = \frac{M}{m} \sqrt{2gh}. \quad (4.5)$$

Щоб визначити висоту підняття центра мас маятника h , розглянемо трикутник OAB (рисунок 4.2), в якому $OD = l \cos \theta$, $AD = h$. Тоді

$$h = AO - OD = l - l \cos \theta = l(1 - \cos \theta) = 2l \sin^2 \frac{\theta}{2}. \quad (4.6)$$

Підставляючи у формулу (4.5), одержимо

$$v = \frac{2M}{m} \sqrt{gl} \sin \frac{\theta}{2}. \quad (4.7)$$

Сторони трикутників ABC і AOZ взаємно перпендикулярні, тому кут $BAC = \frac{\theta}{2}$. З трикутника ABC

$$\operatorname{tg} \frac{\theta}{2} = \frac{BC}{AC} = \frac{h}{s}. \quad (4.8)$$

Оскільки в умовах досліду кут θ дуже малий ($\theta \ll 1$), можна записати

$$\sin \frac{\theta}{2} \approx \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}.$$

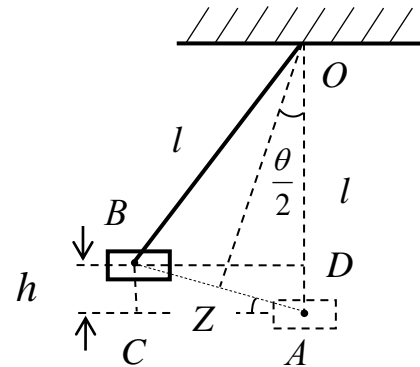


Рисунок 4.2

Ураховуючи це і підставляючи у (4.8) h з формули (4.6), маємо

$$\sin \frac{\theta}{2} = \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} = \frac{h}{s} = \frac{2l \sin^2(\theta/2)}{s}, \text{ звідки } \sin \frac{\theta}{2} = \frac{s}{2l}.$$

Після підстановки в рівняння (4.7) одержуємо формулу для визначення швидкості кулі

$$v = s \frac{M}{m} \sqrt{\frac{g}{l}}. \quad (4.9)$$

Послідовність виконання роботи

1 Підготувати у лабораторному зошиті таблицю вимірюваних величин за зразком, наведеним нижче (таблиця 4.1).

2 Зробити постріл і виміряти горизонтальне відхилення s маятника від положення рівноваги.

3 Повторити дослід декілька разів і знайти середнє значення відхилення $\langle s \rangle$.

4 За формулою (4.9) визначити швидкість кулі (маса кулі m , маса маятника M та довжина підвісу маятника l вказані на установці).

5 Виконати дії за пунктами 2 – 4 для другої кулі.

6 Проаналізувати результати і зробити висновки.

7 Підготувати відповіді на контрольні питання.

Контрольні питання

1 Дайте визначення абсолютно непружного удару.

2 Як визначається імпульс матеріальної точки?

3 Сформулюйте закон збереження імпульсу для абсолютно непружного удару.

4 Що називається кінетичною енергією матеріальної точки? Формула для визначення кінетичної енергії тіла.

5 Дайте визначення консервативних сил. Які сили належать до консервативних?

6 Дайте визначення потенціальної енергії тіла. Формула для визначення потенціальної енергії тіла.

7 Сформулюйте закон збереження енергії в механіці.

8 Запишіть закон збереження енергії для непружного зіткнення тіл.

9 Що таке система тіл?

10 Запишіть другий закон Ньютона в імпульсній формі.

Звіт про виконану роботу

1 Робоча формула:

$$v = s \frac{M}{m} \sqrt{\frac{g}{l}} - \text{швидкість кулі.}$$

1.1 Величини, що вимірюються:

s – переміщення маятника, $[s] = \text{м}$.

Табличні величини:

$g = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ – прискорення вільного падіння.

1.2 Величини, що обчислюються:

v – швидкість кулі, $[v] = \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

2 Результати експерименту:

Таблиця 4.1

Дослід	m , кг	M , кг	l , м	s , м	$\langle s \rangle$, м	v , м/с
1						
2						

3 Обробка результатів експерименту:

$$\langle s \rangle = \frac{s_1 + s_2 + s_3 + s_4 + s_5}{5} = \quad .$$

$$v = \langle s \rangle \frac{M}{m} \sqrt{\frac{g}{l}} = \quad .$$

4 Висновки:

Лабораторна робота 6 ВИЗНАЧЕННЯ МОМЕНТУ ІНЕРЦІЇ МАХОВОГО КОЛЕСА ДИНАМІЧНИМ МЕТОДОМ

Мета роботи: вивчення законів динаміки обертального руху і визначення моменту інерції махового колеса.

Прилади і матеріали: установка для вивчення законів динаміки обертального руху, секундомір, штангенциркуль, сантиметрова лінійка.

Теоретичні відомості

Лабораторна установка для вивчення законів динаміки обертального руху (рисунок 6.1) складається з махового колеса 1 зі шківом 2, закріпленого на валу 3. До шківця прикріплено мотузку 4, другий кінець якої містить гачок для підвішування тягарця 5.

Якщо мотузку намотати на шків та підвісити до гачка тягарець, махове колесо почне обертатися під дією моменту сили

тяжіння, що діє на тягарець. При цьому потенціальна енергія тягарця маси m на деякій висоті h відносно підлоги

$$W_p = mgh$$

переходить у кінетичну енергію поступального руху тягарця

$$W_{\text{пост}} = \frac{mv^2}{2},$$

та кінетичну енергію обертального руху махового колеса

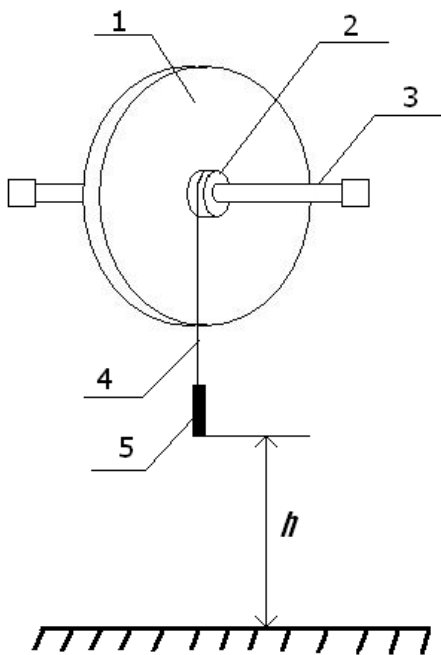


Рисунок 6.1

$$W_{\text{оберт}} = \frac{I\omega^2}{2},$$

де v – швидкість тягарця, I – момент інерції махового колеса, ω – його кутова швидкість.

Для моменту часу t , коли тягарець досягне підлоги, на основі закону збереження механічної енергії без урахування сил тертя маємо

$$mgh = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2}. \quad (6.1)$$

Оскільки на тягарець діє постійна сила тяжіння, його прискорення є постійним і зв'язане з висотою h співвідношенням $h = at^2/2$, звідки

$$a = \frac{2h}{t^2}. \quad (6.2)$$

Швидкість тягарця

$$v = at = \frac{2h}{t}. \quad (6.3)$$

Кутова швидкість обертання колеса

$$\omega = \frac{v}{R} = \frac{2h}{Rt}, \quad (6.4)$$

де t – час руху тягарця, R – радіус шківів.

З формули (6.1), підставляючи туди формули (6.3) і (6.4), одержимо

$$I = mR^2 \left(\frac{gt^2}{2h} - 1 \right). \quad (6.5)$$

Ця формула дає змогу експериментальним шляхом визначити момент інерції махового колеса.

Сила натягу мотузки T , яка діє на шків, створює обертальний момент

$$M = TR. \quad (6.6)$$

Цю силу можна знайти з другого закону Ньютона. Для тягарця маси m він записується у такому вигляді: $ma = mg - T$, звідки

$$T = m(g - a). \quad (6.7)$$

З урахуванням формул (6.2) і (6.7) рівняння (6.6) для моменту сили M набуває вигляду

$$M = mR \left(g - \frac{2h}{t^2} \right). \quad (6.8)$$

Використовуючи основний закон динаміки обертального руху $M = I\varepsilon$, можна знайти кутове прискорення колеса

$$\varepsilon = \frac{M}{I}. \quad (6.9)$$

Послідовність виконання роботи

1 Накреслити таблицю вимірюваних величин за зразком, наведеним у таблиці 6.1.

2 Штангенциркулем виміряти діаметр шківів та знайти його радіус R .

3 Підвісити до гачка тягарець маси m .

4 Виміряти висоту h , на якій міститься тягарець.

5 Відпустити махове колесо й одночасно увімкнути секундомір.

6 У момент удару тягарця об підлогу вимкнути секундомір та зафіксувати час t його руху.

7 Повторити дослід п'ять разів. Результати записати в таблицю і за формулою (6.5) визначити момент інерції колеса.

8 Повторити експеримент для тягарця іншої маси.

- 9 Проаналізувати результати і зробити висновки.
- 10 Підготувати відповіді на контрольні питання.

Контрольні питання

- 1 Що таке обертальний рух?
- 2 Сформулюйте основне рівняння динаміки обертального руху. Запишіть формулу.
- 3 Дайте визначення та запишіть формулу моменту інерції твердого тіла. У яких одиницях у системі СІ вимірюється момент інерції?
- 4 Запишіть формулу моменту інерції однорідного диска або циліндра.
- 5 Дайте визначення та запишіть формулу моменту сили відносно осі обертання. У яких одиницях у системі СІ вимірюється момент сили?
- 6 Дайте визначення та запишіть формулу моменту імпульсу. У яких одиницях у системі СІ вимірюється момент імпульсу?
- 7 Дайте визначення кутового переміщення, запишіть формулу та одиниці вимірювання в системі СІ.
- 8 Дайте визначення кутового прискорення, запишіть формулу та одиниці вимірювання в системі СІ.
- 9 Дайте визначення кутової швидкості, запишіть формулу та одиниці вимірювання в системі СІ.
- 10 Чому дорівнює кінетична енергія обертального руху тіла?

Звіт про виконану роботу

- 1 Робочі формули:

$$I = mR^2 \left(\frac{gt^2}{2h} - 1 \right) - \text{момент інерції тіла.}$$

- 1.1 Величини, що вимірюються:

R – радіус шківів, $[R] = \text{м}$,

h – висота тягарця над підлогою, $[h] = \text{м}$,

t – час руху тягарця до підлоги, $[t] = \text{с}$.

1.2 Табличні величини:

$g = 9.8 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння.

1.3 Величини, що обчислюються:

I – момент інерції тіла, $[I] = \text{кг} \cdot \text{м}^2$.

2 Результати експерименту:

Таблиця 6.1

Дослід	R , м	h , м	m , кг	t , с	$\langle t \rangle$, с	I , $\text{кг} \cdot \text{м}^2$	$\langle I \rangle$, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$
1							
2							

3 Обробка результатів експерименту:

$$I = mR^2 \left(\frac{gt^2}{2h} - 1 \right) = \quad .$$

4 Висновки:

Лабораторна робота 7 ВИВЧЕННЯ ПРУЖНОГО ЦЕНТРАЛЬНОГО УДАРУ КУЛЬ

Мета роботи: вивчення законів збереження енергії та імпульсу при абсолютно пружному зіткненні тіл, визначення сили та часу співудару металевих куль.

Прилади і матеріали: лабораторна установка для визначення пружного співудару куль, міліметрова лінійка.

Теоретичні відомості

Прикладом застосування законів збереження імпульсу та механічної енергії для розв'язання реальної фізичної задачі є удар абсолютно пружних тіл.

Удар – це зіткнення двох або більше тіл, коли взаємодія продовжується дуже короткий час. При ударі в тілах виникають значні внутрішні сили, тому зовнішніми силами, які діють на тіла, можна знехтувати. Це дає змогу розглядати ці тіла як замкнуту систему і застосовувати до неї закони збереження.

Абсолютно пружним називається удар, при якому механічна енергія сукупності тіл, що співударяються, не перетворюється в інші види енергії.

Швидкості куль після їх співудару можна визначити за допомогою законів збереження імпульсу та енергії:

$$\begin{cases} m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{u}_1 + m_2 \vec{u}_2, \\ \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 u_1^2}{2} + \frac{m_2 u_2^2}{2}, \end{cases} \quad (7.1)$$

де m_1, m_2 – маси куль, \vec{v}_1, \vec{v}_2 – швидкості куль до співудару, \vec{u}_1, \vec{u}_2 – після співудару.

Удар називається центральним, якщо тіла до удару рухаються вздовж прямої, що проходить через їхні центри мас. У випадку центрального удару куль їхні швидкості до співудару і після нього спрямовані вздовж цієї прямої. Тоді вектори \vec{v} та \vec{u} можна замінити їх проекціями v і u на вказану пряму. Ураховуючи це, перепишемо систему рівнянь (7.1) у вигляді

$$\begin{cases} m_1(v_1 - u_1) = m_2(u_2 - v_2), \\ m_1(v_1^2 - u_1^2) = m_2(u_2^2 - v_2^2). \end{cases} \quad (2)$$

Оскільки при зіткненні куль їхні швидкості змінюються, тобто $v_1 \neq u_1, u_2 \neq v_2$, друге рівняння системи (7.2) можна розділити на перше. Використавши для другого рівняння формулу $a^2 - b^2 = (a - b)(a + b)$, одержимо

$$v_1 + u_1 = v_2 + u_2. \quad (7.3)$$

Це рівняння розглядаємо сумісно з першим рівнянням системи (7.2):

$$\begin{cases} m_1(v_1 - u_1) = m_2(u_2 - v_2), \\ v_1 + u_1 = v_2 + u_2. \end{cases} \quad (7.4)$$

Розв'язок цієї системи має такий вигляд:

$$u_1 = \frac{2m_2v_2 + (m_1 - m_2)v_1}{m_1 + m_2}, \quad (7.5)$$

$$u_2 = \frac{2m_1v_1 - (m_1 - m_2)v_2}{m_1 + m_2}. \quad (7.6)$$

Коли маси тіл однакові ($m_1 = m_2$), з рівнянь (7.5) і (7.6) випливає, що $u_1 = v_2$ і $u_2 = v_1$, тобто тіла обмінюються швидкостями. Коли друге тіло нерухоме ($v_2 = 0$), перше тіло після удару зупиняється, а друге тіло буде рухатися зі швидкістю першого тіла v_1 .

Розглянемо абсолютно пружний центральний удар двох однакових кульок ($m_1 = m_2 = m$), які висять на нитках однакової довжини. Відстань точки підвісу від центра кулі позначимо буквою l .

Відхилимо кулю 1 на нитці від вертикалі на певний кут та відпустимо (рисунок 7.1). У нижній точці вона буде рухатися зі швидкістю v_1 , яку можна знайти із закону збереження енергії. Куля 1, яка відхилена від положення рівноваги на кут α , має у гравітаційному полі Землі потенціальну енергію $W_n = mgh$, де h – висота, на яку вона підіймається, g – прискорення вільного падіння. Ця енергія при повертанні кулі в положення рівноваги перетворюється у кінетичну енергію: $W_n = W_{кін} = \frac{mv_1^2}{2}$, звідки

$$v_1 = \sqrt{2gh}. \quad (7.7)$$

На рисунку 7.1 видно, що $h = l - AB$. Оскільки $AB = l \cos \alpha$, то $h = l (1 - \cos \alpha) = 2l \sin^2 \frac{\alpha}{2}$.

Підставивши значення h у формулу (7.7), одержимо

$$v_1 = 2\sqrt{gl} \sin \frac{\alpha}{2}. \quad (7.8)$$

Повернувшись у положення рівноваги, куля 1 передає свій імпульс кулі 2 (рисунок 7.2) і зупиняється, а куля 2 починає рухатися. Імпульс, який вона одержала від першої кулі під час удару,

$$\Delta p = m \Delta v = m v_1.$$

Відповідно до другого закону

Ньютона $F = \frac{dp}{dt}$ можна знайти

середню силу удару:

$$\langle F \rangle = \frac{m \Delta v}{\Delta t} = \frac{m v_1}{\tau} \quad (7.9)$$

де $\tau = \Delta t$ – час зіткнення куль.

Час зіткнення куль вимірюється на лабораторній установці, схема якої наведена на рисунку 7.2. Дві однакових сталевих кулі підвішені на гнучких ізольованих провідниках таким чином, що у стані спокою вони висять майже торкаючись одна одну (зазор між ними становить 1 – 3 мм). Кулі можна відхиляти на різні кути та утримувати їх у крайньому лівому та крайньому правому положеннях за допомогою електромагнітів M_1 та M_2 , які вмикаються перемикачем T_3 .

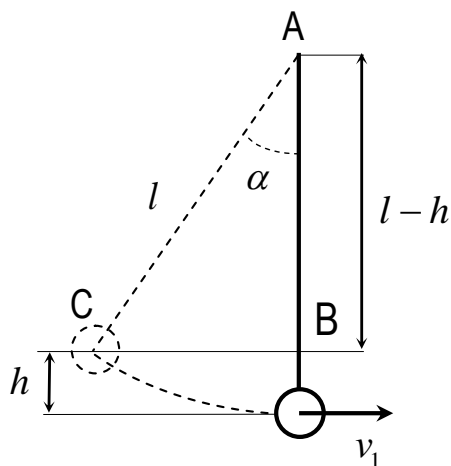


Рисунок 7.1

За допомогою перемикача T_1 кулі можуть бути з'єднані з конденсатором C , резистором R та балістичним гальванометром Γ . Якщо кулі з'єднати послідовно з зарядженим конденсатором, то конденсатор за час зіткнення куль буде розряджатися через

гальванометр. Час розрядки і час зіткнення куль тотожні ($\tau = \Delta t$), а час розрядки визначається за формулою

$$\tau = RC \ln \frac{q_0}{q_0 - q}, \quad (7.10)$$

де C – ємність конденсатора, R – опір у колі конденсатора, q_0 – заряд конденсатора перед зіткненням куль, q – заряд, який пройшов через гальванометр за час зіткнення куль.

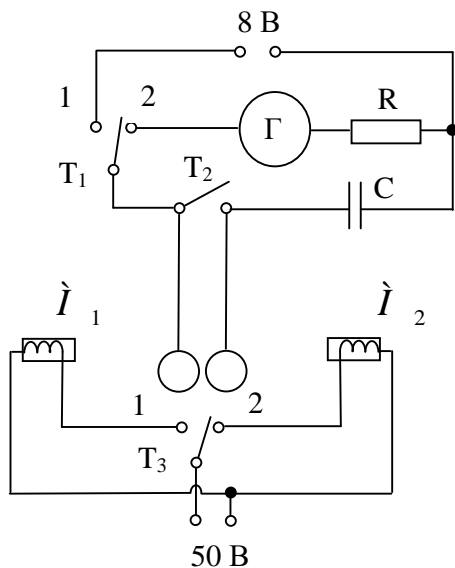


Рисунок 7.2

Заряд конденсатора q_0 та заряд q визначаються балістичним гальванометром. (Балістичний гальванометр вимірює кількість заряду, який пройшов через нього за час протікання короткого імпульсу струму). Відхилення стрілки гальванометра – число поділок шкали n – буде пропорційне кількості заряду q :

$$q_0 = \beta n_0, \quad q = \beta n,$$

де β – коефіцієнт пропорційності.

Підставляючи ці вирази у формулу (7.10), отримуємо формулу для часу розрядки конденсатора, тобто часу зіткнення куль:

$$\tau = RC \ln \frac{n_0}{n_0 - n}. \quad (7.11)$$

Послідовність виконання роботи

1 Накреслити таблицю вимірюваних величин за зразком, наведеним нижче (таблиця 7.1).

2 Для зарядки конденсатора C перемикач T_1 поставити в положення 1 та замкнути тумблер T_2 .

3 Перевести перемикач T_1 в положення 2. Тоді відбудеться повний розряд конденсатора C через гальванометр. Виміряти максимальне відхилення стрілки гальванометра n_0 за його шкалою.

4 Провести три – п'ять дослідів, що описані в пунктах 2 і 3, і знайти середнє значення показань гальванометра $\langle n_0 \rangle$. Перед кожним вимірюванням конденсатор треба заряджати не менш як 5 – 10 с.

5 Знову зарядити конденсатор, як указано в пункті 2. Перемикач T_3 з нейтрального положення перевести в положення 1, замикаючи ним коло електромагніта M_1 . Підвести до цього електромагніта кулю 1, яка буде ним утримуватися на деякій висоті, що відповідає куту α .

6 Розімкнути тумблер T_2 , а перемикач T_1 перевести в положення 2. Оминаючи нейтральне положення, перевести перемикач T_3 в положення 2, замикаючи ним коло електромагніта M_2 і розмикаючи коло електромагніта M_1 .

Куля 1, звільнившись від електромагніта M_1 , ударяє кулю 2. У момент співудару куль замикається коло конденсатора C , який частково розряджається через гальванометр. Кількість електрики, яка протікає по його колу, вимірюється відхиленням стрілки гальванометра на n поділок за шкалою.

Куля 2 після співудару почне рухатися, досягне електромагніта M_2 і буде утримуватися ним. (Електромагніт M_2 використовується для запобігання повторному зіткненню куль).

7 Провести п'ять разів дослід з розрядкою конденсатора через кулі, повторюючи пункти 2, 6. Записати показання гальванометра n в таблицю. Знайти середнє значення $\langle n \rangle$ та за

формулою (7.11) визначити час зіткнення куль τ . (Значення R і C вказані на установці).

8 Перемикачі T_1 і T_3 перевести в нейтральне положення, тим самим відключаючи коло конденсатора та електромагніти від джерел напруги.

9 Виміряти довжину нитки s , діаметр кулі d та знайти відстань центра кулі $l = s + \frac{d}{2}$ від точки підвісу.

10 Виміряти кут α відхилення нитки від положення рівноваги та згідно з формулою (7.8) знайти швидкість v_1 кулі 1 у момент удару.

11 Згідно з формулою (7.9) знайти середню силу удару $\langle F \rangle$.

12 Проаналізувати результати і зробити висновки.

13 Підготувати відповіді на контрольні питання.

Контрольні питання

1 Дайте визначення абсолютно пружного удару.

2 Як визначається імпульс матеріальної точки (тіла)?

3 Сформулюйте другий закон Ньютона.

4 Що таке імпульс сили (визначення, формула та одиниці вимірювання)?

5 Запишіть закон збереження імпульсу для абсолютно пружного удару.

6 Що називається кінетичною енергією матеріальної точки (тіла) та за якою формулою розраховується?

7 Дайте визначення консервативних сил. Які сили належать до консервативних?

8 Дайте визначення та запишіть розрахункову формулу потенціальної енергії тіла.

9 Сформулюйте закон збереження енергії в механіці.

10 Запишіть закон збереження енергії для абсолютно пружного удару.

Звіт про виконану роботу

1 Робочі формули:

$$\tau = RC \ln \frac{n_0}{n_0 - n} \quad - \text{ час зіткнення,}$$

$$v_1 = 2\sqrt{gl} \sin \frac{\alpha}{2} \quad - \text{ швидкість кулі,}$$

$$\langle F \rangle = \frac{m \Delta v}{\Delta t} = \frac{mv_1}{\tau} \quad - \text{ середня сила удару.}$$

1.1 Величини, що вимірюються:

n_0, n – показання гальванометра, $[n_0] = [n] = 1$,

α – кут початкового відхилення, $[\alpha] = \text{град}$,

l – довжина провідника, $[l] = \text{м}$,

m – маса кулі, $[m] = \text{кг}$.

1.2 Табличні величини:

$g = 9.81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння.

1.3 Величини, що обчислюються:

t – час зіткнення, $[t] = \text{с}$;

v – швидкість кулі, $[v] = \text{м/с}$;

$\langle F \rangle$ – середня сила удару, $[F] = \text{Н}$.

2 Результати експерименту:

Таблиця 7.1

Дослід	n_0 , под. шкали	n , под. шкали	α , град	l , м	m , кг	R , Ом	C , Ф
1							
2							
3							
4							
5							
$\langle \rangle$							

3 Обробка результатів експерименту:

$$\langle n_0 \rangle = \frac{n_{01} + n_{02} + n_{03} + n_{04} + n_{05}}{5} = \quad ,$$

$$\langle n \rangle = \frac{n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5}{5} = \quad ,$$

$$\tau = RC \ln \frac{\langle n_0 \rangle}{\langle n_0 \rangle - \langle n \rangle} = \quad ,$$

$$\langle v_1 \rangle = 2\sqrt{gl} \sin \frac{\alpha}{2} = \quad ,$$

$$\langle F \rangle = \frac{m \langle v_1 \rangle}{\tau} = \quad .$$

4 Висновки:

Лабораторна робота 11 ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА В'ЯЗКОСТІ РІДИНИ ЗА МЕТОДОМ СТОКСА

Мета роботи: вивчення явища внутрішнього тертя в плинних середовищах, експериментальне визначення коефіцієнта в'язкості рідини.

Прилади і матеріали: лабораторна установка для визначення коефіцієнта в'язкості рідини за методом Стокса.

Теоретичні відомості

Реальним плинним середовищам – зокрема рідинам та газам – притаманна в'язкість або внутрішнє тертя. В'язкість – це властивість плинних середовищ чинити опір зсувові (руху одних шарів середовища відносно інших, сусідніх з ними). У рідинах в'язкість зумовлена силами зчеплення між молекулами, у газах – зіткненнями молекул одна з однією. Саме тому з підвищенням температури в'язкість рідин зменшується, а в'язкість газів збільшується.

Розглянемо уявний експеримент: між двома паралельними пластинами 1 і 2 міститься рідина (рисунок 11.1). Нижня пластина 1 є нерухомою, а верхня пластина 2 рухається вправо відносно нижньої пластини 1 зі сталою швидкістю v . Шари рідини, які безпосередньо

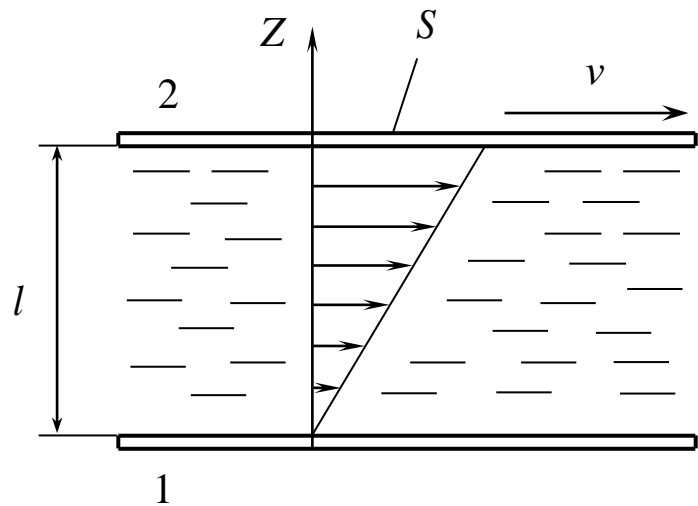


Рисунок 11.1

прилягають до пластин, утримуються на них силами адгезії, що діють між молекулами рідини та молекулами речовини пластин. Тому верхній шар рідини рухається зі швидкістю v відносно нижньої пластини 1, а нижній шар рідини є нерухомий. Очевидно, що нижній шар рідини гальмує при цьому рух сусіднього з ним шару, що розміщений вище від нього, той у свою чергу гальмує рух наступного сусіднього шару і т.д. При цьому швидкість руху шарів рідини змінюється вздовж осі Z від 0 до v .

Для підтримування руху пластини 2 зі сталою швидкістю до неї необхідно прикласти деяку силу F у напрямку, паралельному осі Y (рисунок 11.1). Для кожної конкретної рідини, як відомо з експерименту, ця сила є прямо пропорційною швидкості v руху пластини 2 та її площі S і обернено пропорційною відстані між пластинами l . Отже, можна записати:

$$F \sim S \frac{v}{l}. \quad (11.1)$$

Це співвідношення для двох сусідніх шарів має вигляд

$$F = \eta \frac{dv}{dz} \Delta S, \quad (11.2)$$

де ΔS – площа їх дотику, $\frac{dv}{dz}$ – градієнт швидкості рідини. Він показує, як різко змінюється модуль швидкості рідини v вздовж осі Z .

Коефіцієнт пропорційності η називається коефіцієнтом в'язкості плинного середовища. Чисельно він дорівнює силі F , яка діє між двома сусідніми шарами рідини з площею дотику $\Delta S = 1 \text{ м}^2$ при градієнті швидкості цих шарів, рівному одиниці:

$$\eta = \frac{F}{\left(\frac{dv}{dz}\right) \Delta S}. \quad (11.3)$$

Коефіцієнт в'язкості характеризує властивості даного плинного середовища, оскільки при однакових умовах – однакових градієнті та площі дотику ΔS – сила F залежить тільки від роду середовища.

Одиниця вимірювання коефіцієнта в'язкості в СІ – паскаль-секунда:

$$[\eta] = \text{Па} \cdot \text{с}.$$

У цій роботі в'язкість рідини визначається за методом Стокса, який ґрунтується на експериментальному дослідженні руху тіл у плинних середовищах. Коли довільне тіло рухається в такому середовищі (рідині чи газі), на нього діє з боку середовища сила, яка називається силою лобового опору. Вона виникає завдяки в'язкості середовища, а при дуже великих швидкостях руху рідини – внаслідок турбулентності (бурхливості рідини чи газу) позаду тіла. Таким тілом може бути тепловоз, що рухається, або підводний човен. Якщо потік середовища, який обтікає тіло, є ламінарним, тобто плавним (це відбувається при малих швидкостях руху рідини), сила в'язкого тертя F_v є прямо пропорційною швидкості руху тіла v :

$$F_v = k v. \quad (11.4)$$

Коефіцієнт пропорційності k залежить від розмірів та форми тіла, а також від в'язкості η середовища. Зокрема для сфери радіуса r , як було шляхом розрахунків доведено Стоксом:

$$k = 6\pi\eta r. \quad (5)$$

Лабораторна установка для визначення коефіцієнта в'язкості рідини за методом Стокса (рисунок 11.2) складається зі скляної вертикальної труби 1, закритої з нижнього кінця, наповненої рідиною 2, розміщеною в корпусі 3. На корпусі зроблені дві позначки 4 на відстані D одна від одної. Лабораторний експеримент полягає у визначенні швидкості рівномірного руху кульки в рідині.

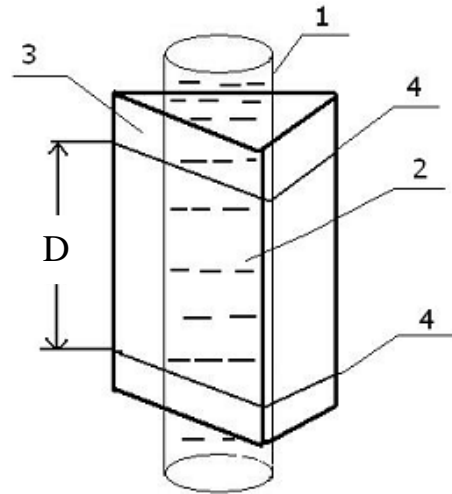


Рисунок 11.2

Якщо в трубу опустити металеву кульку, вона буде рухатися вниз. При цьому на кульку будуть діяти сили, зображені на рисунку 11.3:

1 Сила тяжіння F_g

$$F_g = mg = \rho Vg, \quad (11.6)$$

де m , ρ , V – відповідно маса, густина та об'єм кульки, g – прискорення вільного падіння.

2 Сила в'язкого тертя

$$F_v = 6\pi r\eta v, \quad (11.7)$$

де r , v – відповідно радіус та швидкість кульки.

3 Сила Архімеда

$$F_A = \rho_p V g, \quad (11.8)$$

де ρ_p – густина рідини.

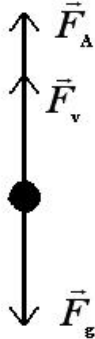


Рисунок 11.3

Кулька у рідині буде рухатися спочатку прискорено. Сила в'язкого тертя при цьому зростатиме, поки векторна сума сил, що діють на кульку (рисунок 11.3), не перетвориться на нуль, тобто

$$F_g - F_A - F_v = 0. \quad (11.9)$$

Після цього кулька рухатиметься рівномірно. Верхню позначку 4 вона перетинатиме маючи постійну швидкість.

Підставляючи у (11.9) рівняння (11.6) – (11.8) і враховуючи, що об'єм кульки $V = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{1}{6} \pi d^3$ ($d = 2r$ – діаметр кульки), одержимо

$$\rho \cdot \frac{1}{6} \pi d^3 \cdot g = \rho_p \cdot \frac{1}{6} \pi d^3 \cdot g + 3\pi d \eta v.$$

Звідси маємо для коефіцієнта в'язкості рідини рівняння

$$\eta = \frac{1}{18} g d^2 \frac{\rho_k - \rho_p}{v}. \quad (11.10)$$

Швидкість v можна визначити як відношення відстані D між кільцевими позначками 4 до часу t руху кульки між ними:

$$v = \frac{D}{t},$$

Рівняння (11.10) набуває вигляду

$$\eta = \frac{g t (\rho - \rho_p) d^2}{18 D}. \quad (11.11)$$

Послідовність виконання роботи

- 1 Накреслити таблицю вимірюваних величин за зразком, наведеним у таблиці 11.1.
- 2 За допомогою мікрометра визначити діаметр кульки d .
- 3 Опустити кульку в трубку з рідиною і за допомогою секундоміра визначити час руху кульки між кільцевими позначками.
- 4 Повторити дослід три рази з кульками різних діаметрів.
- 5 Згідно з формулою (11.11) розрахувати коефіцієнт в'язкості рідини (відстань D між позначками дана на установці).
- 6 Проаналізувати результати і зробити висновки.
- 7 Підготувати відповіді на контрольні питання.

Контрольні питання

- 1 Що таке прямолінійний рівномірний рух?
- 2 Інерціальні системи відліку.
- 3 Дайте визначення поняття в'язкості рідини.
- 4 Якими силами зумовлена в'язкість у рідинах, у газах?
- 5 Дайте формулювання закону Архімеда та запишіть розрахункову формулу.
- 6 Дайте визначення сили тяжіння.
- 7 Дайте визначення ваги тіла? Дайте визначення маси тіла?
- 8 Дайте визначення та запишіть формулу другого закону Ньютона.
- 9 Дайте визначення третього закону Ньютона.
- 10 Які сили діють на кульку в рідині?

Звіт про виконану роботу

- 1 Робоча формула:

$$\eta = \frac{gt(\rho - \rho_p)d^2}{18D} - \text{коефіцієнт в'язкості рідини.}$$

- 1.1 Величини, що вимірюються:

d – діаметр кульки, $[d] = \text{м}$;

t – час руху кульки, $[t] = \text{с}$.

1.2 Табличні величини:

прискорення вільного падіння:

$$g = 9,81 \frac{\text{М}}{\text{с}^2};$$

густина рідини:

$$\rho_p = 0,95 \cdot 10^3 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3};$$

густина сталі:

$$\rho_{\text{сталі}} = 7,8 \cdot 10^3 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3};$$

густина свинцю:

$$\rho_{\text{свинця}} = 11,3 \cdot 10^3 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}.$$

1.3 Величини, що обчислюються:

η – коефіцієнт в'язкості, $[\eta] = \text{Па} \cdot \text{с}$.

2 Результати експерименту:

Таблиця 11.1

Дослід	ρ , кг/м ³	d , м	t , с	D , м
1				
2				
3				

3 Обробка результатів експерименту:

$$\eta_i = \frac{gt(\rho_i - \rho_p)d^2}{18D} = \quad , \quad (i = 1, 2, 3),$$

$$\langle \eta \rangle = \frac{\eta_1 + \eta_2 + \eta_3}{3} = \quad .$$

4 Висновки: _____

Лабораторна робота 13 ВИЗНАЧЕННЯ МОМЕНТУ ІНЕРЦІЇ ТІЛА НЕПРАВИЛЬНОЇ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ФОРМИ

Мета роботи: вивчення законів динаміки обертального руху і визначення моменту інерції тіла.

Прилади і матеріали: крутильний маятник, досліджуване тіло, міліметрова лінійка, штангенциркуль, секундомір.

Теоретичні відомості

Момент інерції тіла I – скалярна фізична величина, що є мірою інертності тіла, яке обертається навколо осі. Одним з методів експериментального визначення моментів інерції твердих тіл неправильної геометричної форми є метод Гаусса. Він полягає в порівнянні періоду крутильних коливань горизонтально розташованого диска, закріпленого на тонкому пружному вертикальному стержні, з періодом коливань того ж самого диска з навантаженням на нього тілом.

Експериментальна установка складається з диска P і тонкого пружного стержня L (дроту однорідного поперечного перерізу), верхній кінець якого закріплений нерухомо (рисунок 13.1).

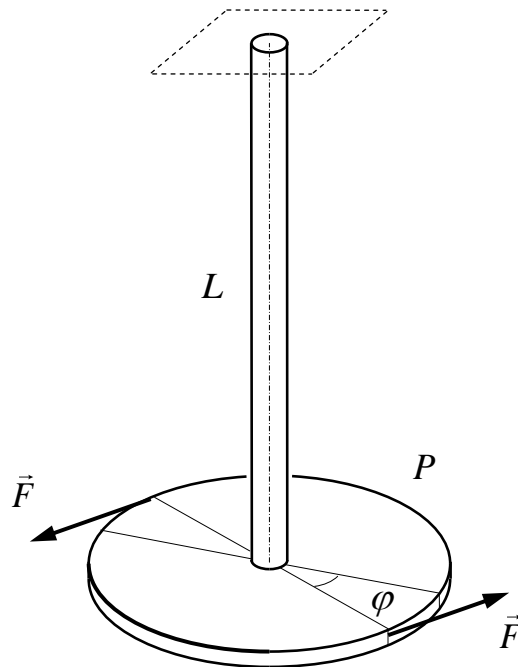


Рисунок 13.1

Якщо цей диск повернути на деякий кут φ , у стержні виникають пружні сили, які намагаються завернути диск у первісний стан. Під дією цих сил диск, залишений сам собі, повертається в початкове положення. При цьому кутова швидкість диска зростає. Коли кут повороту диска φ стає рівним нулю, обертова швидкість його максимальна. Завдяки інертності, він продовжує обертання і повертається на той же кут у протилежному напрямку. Після зупинки диск знову починає рух,

обертаючись у протилежний бік. Так виникають коливання навколо вертикальної осі – обертання диска в обидва боки відносно його початкового стану.

При малих кутах повороту, коли деформація стержня залишається пружною, крутильний момент сил пружності M є пропорційним куту кручення φ :

$$M = -k\varphi, \quad (13.1)$$

де k – коефіцієнт пропорційності, який залежить від пружних властивостей матеріалу стержня, а також від його довжини та площі поперечного перерізу.

Знак «мінус» указує, що аксіальні вектори – моменту сили \vec{M} та кута повороту $\vec{\varphi}$ – протилежні один одному – проекції їх на вісь обертання, що містяться у рівнянні (13.1), мають різні знаки.

Підставивши (13.1) в основне рівняння динаміки обертового руху $I\varepsilon = M$, де I – момент інерції тіла, $\varepsilon = \varphi''$ – його кутове прискорення, одержимо диференціальне рівняння

$$I\varphi'' + k\varphi = 0. \quad (13.2)$$

Розділивши на I , перепишемо його у вигляді

$$\varphi'' + \omega_0^2 \varphi = 0, \quad (13.3)$$

де введено позначення

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{I}}. \quad (13.4)$$

Рівняння (13.3) має назву рівняння вільних незатухаючих (тобто при відсутності тертя) гармонічних коливань. Його розв'язком є функція

$$\varphi(t) = \varphi_0 \cos \omega_0 t, \quad (13.5)$$

яка описує крутильні гармонічні коливання (кут повороту φ залежить від часу за законом синуса або косинуса). У формулі (13.5) φ_0 – амплітуда крутильних коливань – максимальне значення кута повороту диска, ω_0 – кругова частота. Вона пов’язана з періодом коливань T співвідношенням

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T}. \quad (13.6)$$

Ураховуючи (13.4), період крутильних коливань диска можна знайти за формулою

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{I_0}{k}}, \quad (13.7)$$

де $I_0 = \frac{1}{2}mR^2$ – момент інерції диска (m – маса диска, R – його радіус).

Якщо на диск покласти досліджуване тіло так, щоб центр мас тіла містився на осі обертання диска, період крутильних коливань зросте і буде дорівнювати

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I_0 + I_T}{k}}, \quad (13.8)$$

де I_T – момент інерції тіла відносно вказаної осі.

Розділивши співвідношення (13.8) на (13.7), маємо:

$$\frac{T}{T_0} = \sqrt{\frac{I_0 + I_T}{I_0}},$$

звідки

$$I_T = I_0 \left(\frac{T^2}{T_0^2} - 1 \right). \quad (13.9)$$

Масу диска обчислимо як добуток його густини ρ на об'єм $V = \pi R^2 h$ (h – товщина диска). Підстановка у формулу (13.9) дає вираз для обчислення моменту інерції досліджуваного тіла:

$$I_T = \frac{\pi R^4 \rho h}{2} \left(\frac{T^2}{T_0^2} - 1 \right). \quad (13.10)$$

Послідовність виконання роботи

1 Накреслити таблицю вимірюваних величин за зразком, наведеним у таблиці 13.1.

2 Повернути ненавантажений диск на певний кут (5...10 градусів) і відпустити. За допомогою секундоміра виміряти час t_0 n коливань диска ($n = 20...30$). Дані занести у таблицю.

3 Покласти на диск досліджуване тіло і виміряти час t для такої ж самої кількості коливань n , як і в першому випадку.

4 Обчислити періоди коливань у цих двох випадках за формулами $T_0 = \frac{t_0}{n}$, $T = \frac{t}{n}$.

5 Виміряти штангенциркулем товщину диска h , а міліметровою лінійкою – його діаметр d . Обчислити радіус диска R і дані занести у таблицю.

6 Використовуючи формулу (13.10), обчислити момент інерції I_T досліджуваного тіла.

7 Проаналізувати результати і зробити висновки.

8 Підготувати відповіді на контрольні питання.

Контрольні питання

1 Сформулюйте основне рівняння динаміки обертального руху.

2 Дайте визначення моменту інерції твердого тіла відносно нерухомої осі.

3 Запишіть формулу моменту інерції однорідного диска або циліндра.

- 4 Дайте визначення та запишіть формулу моменту сили.
- 5 Дайте визначення та запишіть формулу моменту імпульсу.
- 6 Сформулюйте теорему Штейнера.
- 7 Що таке обертальний рух?
- 8 Які коливання називаються гармонічними? Дайте визначення циклічної частоти і періоду гармонічних коливань.
- 9 Виведіть формулу для визначення моменту інерції тіла, яку ви застосували у цій роботі.
- 10 Чому дорівнює кінетична енергія обертального руху тіла?

Звіт про виконану роботу

1 Робоча формула:

$$I_T = \frac{\pi R^4 \rho h}{2} \left(\frac{T^2}{T_0^2} - 1 \right) - \text{момент інерції тіла.}$$

1.1 Величини, що вимірюються:

R – радіус диска, $[R] = \text{м}$,

h – товщина диска, $[h] = \text{м}$,

t_0 – час n коливань ненавантаженого диска, $[t_0] = \text{с}$,

t – час n коливань навантаженого диска, $[t] = \text{с}$.

1.2 Табличні величини:

$\rho = 1,4 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ – густина матеріала диска (алюміній).

1.3. Величини, що обчислюються:

$$T_0 = \frac{t_0}{n}, \quad T = \frac{t}{n}, \quad [T] = \text{с};$$

I_T – момент інерції тіла, $[I_T] = \text{кг} \cdot \text{м}^2$.

2 Результати експерименту:

Таблиця 13.1

n	$t_0, \text{с}$	$t, \text{с}$	$R, \text{м}$	$h, \text{м}$	$\rho, \text{кг/м}^3$

3 Обробка результатів експерименту:

$$I_T = \frac{\pi R^4 \rho h}{2} \left(\frac{T^2}{T_0^2} - 1 \right) = \quad .$$

4 Висновки:

Лабораторна робота 23 **ВИЗНАЧЕННЯ ГУСТИНИ ПОВІТРЯ** **ПРИ НОРМАЛЬНИХ УМОВАХ**

Мета роботи: вивчення законів ідеальних газів, експериментальне визначення густини повітря.

Прилади і матеріали: скляна колба, манометр, насос Комовського, аналітичні терези, термометр, з'єднувальні шланги.

Теоретичні відомості

Густиною повітря при нормальних умовах ρ_0 називають масу, яка міститься в об'ємі 1 м^3 при температурі $T_0 = 273 \text{ К}$ і тиску $p_0 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Величину ρ_0 можна розрахувати, якщо відома густина повітря ρ_1 при лабораторних умовах, тобто при температурі T і тиску p_1 , які існують у лабораторії під час вимірювань.

Експериментально величину ρ_1 можна визначити таким чином. На аналітичних терезах зважують колбу з відомим об'ємом V_1 і знаходять її масу m_1 . Потім повітря з колби відкачують за допомогою насоса Комовського, вимірюють остаточний тиск у колбі p_2 , і закривають кран колби. Колбу з частково відкачаним повітрям знову зважують і визначають її масу m_2 . Маса відкачаного повітря буде дорівнювати

$$\Delta m = m_1 - m_2 . \quad (23.1)$$

Потім розраховують об'єм ΔV , який займало б викачане з колби повітря при лабораторних умовах

$$\Delta V = V_1 - V, \quad (23.2)$$

де V – об'єм, який би займало при лабораторних умовах повітря, яке залишилось у колбі. Згідно з законом Бойля-Маріотта цей об'єм дорівнює $V = \frac{V_1 p_2}{p_1}$. Підставляючи цей вираз у формулу

(23.2), знаходимо різницю $\Delta V = V_1 \left(1 - \frac{p_2}{p_1} \right)$, якій відповідає маса

Δm відкачаного повітря. Густина повітря при лабораторних умовах

$$\rho_1 = \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{(m_1 - m_2) p_1}{V_1 (p_1 - p_2)}. \quad (23.3)$$

Стан ідеального газу маси m описується рівнянням Клапейрона–Менделєєва

$$pV = \frac{m}{M} RT, \quad (23.4)$$

де p – тиск газу, V – об'єм, який він займає, M – молярна маса газу, R – універсальна газова стала, T – абсолютна температура.

Згідно з цим рівнянням густина газу розраховується за виразом $\rho = \frac{m}{V} = \frac{pM}{RT}$. Таким чином, якщо нам відома густина

ρ_1 при температурі T і тиску p_1 , то приведена до нормальних умов густина буде надаватись виразом $\rho_0 = \rho_1 \frac{p_0 T}{p_1 T_0}$. Остаточню одержуємо вираз для густини повітря при нормальних умовах

$$\rho_0 = \frac{(m_1 - m_2) p_0 T}{V_1 (p_1 - p_2) T_0} . \quad (23.5)$$

Експериментальна установка для визначення густини повітря при нормальних умовах складається зі скляної колби A з краном K (рисунок 23.1), вакуумного насоса, манометра й аналітичних терезів (на рисунку не показані).

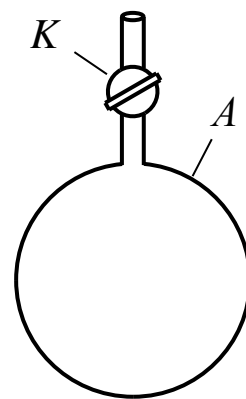


Рисунок 23.1

Послідовність виконання роботи

1 Накреслити таблицю вимірюваних величин за зразком, наведеним у таблиці 23.1.

2 Визначити за допомогою барометра атмосферний тиск p_1 .

3 Визначити за допомогою термометра температуру t в лабораторії. Знайти абсолютну температуру $T = t + 273$ і занести її у таблицю.

4 Зважити на аналітичних терезах колбу при відкритому крані K і знайти масу колби m_1 разом з повітрям, що в ній міститься.

5 З'єднати колбу з насосом і манометром за допомогою з'єднувального шланга. Кран колби K повинен бути відкритим. Відкачати повітря з колби поки тиск у колбі не зменшиться до деякого значення p_2 .

6 Старанно закрити кран колби K і записати показання манометра p_2 у таблицю.

7 Зважити на аналітичних терезах колбу і знайти масу m_2 колби разом з повітрям, що в ній залишилось.

8 За формулою (23.5) знайти густину повітря при нормальних умовах ρ_0 . (Значення об'єму колби V_1 надано на установці).

9 Обчислити відносну та абсолютну похибки визначення ρ_0 .

10 Проаналізувати результати і зробити висновки.

11 Підготувати відповіді на контрольні питання.

Контрольні питання

- 1 Сформулюйте основні положення молекулярно-кінетичної теорії речовини.
- 2 Що називається термодинамічною системою? Наведіть приклади таких систем.
- 3 Що називається ідеальним газом?
- 4 Якими термодинамічними параметрами характеризується стан даної маси газу?
- 5 Запишіть рівняння стану ідеального газу.
- 6 Дайте визначення тиску газу або рідини. У яких одиницях він вимірюється?
- 7 Як визначається густина повітря при нормальних умовах?
- 8 Дайте характеристику температурних шкал Цельсія і Кельвіна. Як вони пов'язані одна з одною?
- 9 Дайте визначення моля речовини. Скільки молекул міститься в одному молі будь-якої речовини?

Звіт про виконану роботу

- 1 Робоча формула:

$$\rho_0 = \frac{(m_1 - m_2) p_0 T}{V_1 (p_1 - p_2) T_0} \quad - \text{ густина повітря при нормальних}$$

умовах.

- 1.1 Величини, що вимірюються:

p_1 – атмосферний тиск, $[p_1] = \text{Па}$,

p_2 – тиск в колбі після відкачування повітря, $[p_2] = \text{Па}$,

T – абсолютна температура, $[T] = \text{К}$,

m_1 – маса колби з повітрям під тиском p_1 , $[m_1] = \text{кг}$,

m_2 – маса колби з повітрям під тиском p_2 , $[m_2] = \text{кг}$.

- 1.2 Табличні величини:

$T_0 = 273 \text{ К}$ – температура плавлення льоду;

$p_0 = 10^5 \text{ Па}$ – нормальний атмосферний тиск.

1.3 Величини, що обчислюються:

ρ_0 – густина повітря при нормальних умовах, $[\rho_0] = \text{кг/м}^3$.

2 Результати експерименту:

Таблиця 23.1

$V_1, \text{м}^3$	$p_1, \text{Па}$	$p_2, \text{Па}$	$t, \text{°C}$	$T, \text{К}$	$m_1, \text{кг}$	$m_2, \text{кг}$

3 Обробка результатів експерименту:

$$\rho_0 = \frac{(m_1 - m_2) p_0 T}{V_1 (p_1 - p_2) T_0} = \quad .$$

4 Висновки:

Лабораторна робота 26 ВИЗНАЧЕННЯ УНІВЕРСАЛЬНОЇ ГАЗОВОЇ СТАЛОЇ ЗА МЕТОДОМ ВІДКАЧУВАННЯ

Мета роботи: вивчення законів ідеальних газів, експериментальне визначення універсальної газової сталої.

Прилади і матеріали: скляна колба, манометр, насос Комовського, аналітичні терези, термометр, з'єднувальні шланги.

Теоретичні відомості

Стан ідеального газу маси m описується рівнянням Клапейрона–Менделєєва

$$pV = \frac{m}{M} RT, \quad (26.1)$$

де p – тиск газу, V – об'єм, який він займає, M – молярна маса газу, R – універсальна газова стала, T – абсолютна температура.

Для 1 моль газу ($m = M$) воно має вигляд

$$pV = RT.$$

Якщо продиференціювати це рівняння при умові, коли тиск залишається сталим ($p = \text{const}$), одержимо співвідношення $p dV = R dT$, яке у випадку, коли температура збільшується на ΔT градусів, має вигляд

$$p \Delta V = R \Delta T,$$

де ΔV – збільшення об'єму газу.

Ліва частина цього рівняння дорівнює роботі розширення газу: $p \Delta V = A$. Отже, коли газ нагрівається на 1 градус ($\Delta T = 1\text{K}$) маємо $A = R$.

Таким чином, універсальна газова стала R чисельно дорівнює роботі при ізобарному розширенні 1 моль газу при нагріванні його на 1 градус.

Одержимо робочу формулу, яка використовується в цій лабораторній роботі для визначення універсальної газової сталої R . Розглянемо газ, маса якого m_1 і який міститься у колбі об'ємом V при температурі T під тиском p_1 . Стан газу описується рівнянням

$$p_1 V = \frac{m_1}{M} RT. \quad (26.2)$$

Відкачаємо з колби частину газу. Тоді маса газу стає рівною m_2 , а тиск – рівним p_2 . Рівняння (26.2) набуває вигляду

$$p_2 V = \frac{m_2}{M} RT. \quad (26.3)$$

Віднімаючи від рівняння (26.2) рівняння (26.3), одержимо рівняння

$$(p_1 - p_2) V = \frac{(m_1 - m_2)}{M} RT,$$

звідки

$$R = \frac{M (p_1 - p_2) V}{(m_1 - m_2) T}. \quad (26.4)$$

Експериментальна установка для визначення універсальної газової сталої складається зі скляної колби A з краном K (рисунок 26.1), вакуумного насоса, манометра і аналітичних терезів (на рисунку не показані).

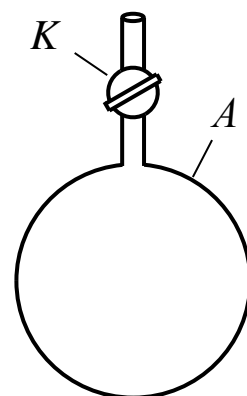


Рисунок 26.1

Послідовність виконання роботи

1 Накреслити таблицю вимірюваних величин за зразком, наведеним у таблиці 26.1.

2 Визначити за допомогою барометра атмосферний тиск p_1 і занести його у таблицю.

3 Визначити за допомогою термометра температуру t в лабораторії. Знайти абсолютну температуру $T = t + 273$ і занести її у таблицю.

4 Зважити на аналітичних терезах колбу при відкритому крані K і знайти масу колби разом з повітрям, що в ній міститься, $m_{01} = m_0 + m_1$ (m_0 – маса колби без повітря, m_1 – маса повітря).

5 З'єднати колбу з насосом і манометром з допомогою з'єднувального шланга. Кран колби K повинен бути відкритим. Відкачати повітря з колби поки тиск у колбі не зменшиться до деякого значення p_2 ($p_2 < p_1$).

6 Старанно закрити кран колби K і записати показання манометра p_2 у таблицю.

7 Зважити на аналітичних терезах колбу і знайти масу колби разом з повітрям, що в ній залишилось $m_{02} = m_0 + m_2$ (m_2 – маса повітря).

8 За формулою (26.4) знайти R , маючи на увазі, що різниця $m_2 - m_1 = m_{02} - m_{01}$. (Об'єм колби V вказаний на установці).

9 Проаналізувати результати і зробити висновки.

10 Підготувати відповіді на контрольні питання.

Контрольні питання

1 Сформулюйте основні положення молекулярно-кінетичної теорії речовини.

2 Що називається термодинамічною системою? Наведіть приклади таких систем.

3 Що називається ідеальним газом?

4 Якими термодинамічними параметрами характеризується стан даної маси газу?

5 Запишіть рівняння стану ідеального газу.

6 Дайте визначення тиску газу або рідини. У яких одиницях він вимірюється?

7 Дайте характеристику температурних шкал Цельсія і Кельвіна. Як вони пов'язані одна з одною?

8 Дайте визначення моля речовини. Скільки молекул міститься в одному молі будь-якої речовини? Сформулюйте закон Авогадро.

9 Знайдіть роботу ізобарного розширення ідеального газу.

10 Який фізичний зміст має універсальна газова стала?

Звіт про виконану роботу

1 Робоча формула

$$R = \frac{M(p_2 - p_1)V}{(m_{02} - m_{01})T} - \text{універсальна газова стала.}$$

1.1 Величини, що вимірюються:

p_1 – атмосферний тиск, $[p_1] = \text{Па}$,

p_2 – тиск у колбі після відкачування повітря, $[p_2] = \text{Па}$,

T – абсолютна температура, $[T] = \text{К}$,

m_{01} – маса колби з повітрям під тиском p_1 , $[m_{01}] = \text{кг}$,
 m_{02} – маса колби з повітрям під тиском p_2 , $[m_{02}] = \text{кг}$.

1.2 Табличні величини:

$M = 29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ – молярна маса повітря.

1.3 Величини, що обчислюються:

R – універсальна газова стала, $[R] = \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$.

2 Результати експерименту:

Таблиця 26.1

$p_1, \text{Па}$	$p_2, \text{Па}$	$m_{01}, \text{кг}$	$m_{02}, \text{кг}$	$V, \text{м}^3$	$T, \text{К}$

3 Обробка результатів експерименту:

$$R = \frac{M(p_1 - p_2)V}{(m_{01} - m_{02})T} = \quad .$$

4 Висновки:

Лабораторна робота 28 **ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ВНУТРІШНЬОГО ТЕРТЯ ТА СЕРЕДНЬОЇ ДОВЖИНИ ВІЛЬНОГО ПРОБІГУ МОЛЕКУЛ ПОВІТРЯ**

Мета роботи: вивчення явища в'язкості газів, визначення коефіцієнта в'язкості й обчислення густини повітря, середньої швидкості, середньої довжини вільного пробігу та ефективного діаметра його молекул.

Прилади і матеріали: лабораторна установка для визначення коефіцієнта в'язкості газів.

Теоретичні відомості

Визначення коефіцієнта внутрішнього тертя (в'язкості) рідини або газу наведено в теоретичних відомостях до лабораторної роботи 11. Експериментальне визначення коефіцієнта в'язкості газу можливо здійснити за методом Пуазейля. Прилад, що використовується для цього, називається віскозиметром. Він являє собою наповнену водою посудину A з

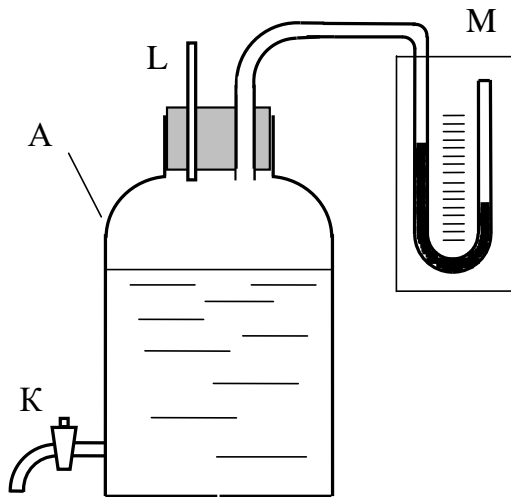


Рисунок 28.1

краном K , через який вода може витікати (рисунок 28.1). Посудина з'єднана трубкою з манометром M , який показує різницю між внутрішнім та зовнішнім тисками повітря. Через капілярну трубку L молекули повітря можуть проходити всередину посудини.

Якщо відкрити кран K , вода почне витікати, тиск усередині посудини буде зменшуватися, а через капіляр

L – всмоктувати повітря. Через малу різницю тисків на кінцях капіляра повітря можна вважати нестисливим, а його густину – незмінною. Тоді об'єм повітря, яке пройшло за час t через капіляр, дорівнює об'єму рідини V , що витекла з посудини за цей час. Зв'язок параметрів віскозиметра з коефіцієнтом в'язкості газу описується у цьому випадку формулою Пуазейля:

$$\eta = \frac{\pi r^4 \Delta p t}{8 V l}, \quad (28.1)$$

де r і l – відповідно радіус та довжина капіляра, Δp – різниця тисків на його кінцях, яку показує манометр (вона розраховується за формулою $\Delta p = \rho_p g \Delta h$, де ρ_p – густина рідини у манометрі, Δh – різниця її рівнів у колінах манометра, g – прискорення вільного падіння).

Кінетична теорія встановлює формулу для коефіцієнта в'язкості газу:

$$\eta = \frac{1}{3} \rho \langle \lambda \rangle \langle v \rangle, \quad (28.2)$$

де ρ – густина газу, $\langle \lambda \rangle$ – середня довжина вільного пробігу молекул газу, $\langle v \rangle$ – середня швидкість молекул.

З формули (28.2) можна визначити $\langle \lambda \rangle$:

$$\langle \lambda \rangle = \frac{3\eta}{\rho \langle v \rangle}. \quad (28.3)$$

Таким чином, для визначення середньої довжини вільного пробігу молекул повітря $\langle \lambda \rangle$ треба знати густину повітря ρ і середню швидкість його молекул $\langle v \rangle$.

Густину газу ρ можна знайти з рівняння Клапейрона–Менделєєва $pV = \frac{m}{M}RT$:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{pM}{RT}, \quad (28.4)$$

де p – барометричний тиск, M – молярна маса газу, R – універсальна газова стала, T – абсолютна температура.

Середня арифметична швидкість молекул газу визначається за формулою

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}. \quad (28.5)$$

Обчисливши η за формулою (28.2), ρ – за формулою (28.4) і $\langle v \rangle$ – за формулою (28.5), та підставивши одержані значення у

формулу (28.3), можна визначити середню довжину вільного пробігу молекул повітря $\langle \lambda \rangle$.

За відомою середньою довжиною вільного пробігу молекул газу

$$\langle \lambda \rangle = \frac{1}{\sqrt{2} \pi d_{ef}^2 n_0} \quad (28.6)$$

можна знайти ефективний діаметр його молекул d_{ef} з формули

$$d_{ef} = \frac{1}{\sqrt{\sqrt{2} \pi \langle \lambda \rangle n_0}}, \quad (28.7)$$

де $n_0 = \frac{p}{kT}$ – кількість молекул в одиниці об'єму,

$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – стала Больцмана, p і T – відповідно атмосферний тиск і температура в умовах досліду.

Послідовність виконання роботи

1 Накреслити таблицю вимірюваних величин за зразком, наведеним у таблиці 28.1.

2 Підставити під кран K склянку, відкрити кран і почекати поки встановиться стаціонарна течія води з крана (при цьому різниця рівнів у манометрі не буде помітно змінюватися, а вода з крана капатиме рівномірно).

3 Записати різницю рівнів рідини в манометрі Δh , мм. Замість склянки підставити під кран мензурку й увімкнути секундомір.

4 Почекати 1 хв ($t = 60$ с), закрити кран K і записати об'єм води V , м³, що витекла з посудини до мензурки за час досліду.

5 Перевести різницю рівнів рідини в манометрі Δh , мм, у різницю тисків Δp , Па, $\Delta p = \rho_p g \Delta h$, де ρ_p – густина рідини в манометрі, $g = 9,8$ м/с² – прискорення вільного падіння (у цій роботі в манометрі використовується вода, тому $\rho_p = 10^3$ кг/м³, а 1 мм вод.ст. = 9,8 Па).

6 Використовуючи барометр та термометр, визначити атмосферний тиск p і температуру повітря $t^{\circ}\text{C}$, в лабораторії. Занести значення p , Па, і $T = t + 273$ (К) у таблицю.

7 Обчислити коефіцієнт в'язкості повітря η за формулою (28.1). Радіус r та довжина капіляра l вказані на установці.

8 Обчислити густину повітря ρ за формулою (28.4) та середню арифметичну швидкість його молекул $\langle v \rangle$ за формулою (28.5).

9 Обчислити середню довжину вільного пробігу молекул повітря $\langle \lambda \rangle$ за формулою (28.3).

10 Обчислити кількість молекул в одиниці об'єму $n_0 = \frac{p}{kT}$ і за формулою (28.7) – ефективний діаметр молекул повітря d_{ef} .

11 Проаналізувати результати і зробити висновки.

12 Підготувати відповіді на контрольні питання.

Контрольні питання

1 Сформулюйте основні положення молекулярно-кінетичної теорії речовини.

2 Що називається термодинамічною системою? Наведіть приклади таких систем.

3 Наведіть приклади процесів, які приводять термодинамічну систему у рівноважний стан.

4 Дайте визначення коефіцієнта в'язкості. Який він має фізичний зміст?

5 Поясніть молекулярно-кінетичний механізм в'язкості газів.

6 У чому полягає різниця механізмів внутрішнього тертя рідини та газу? Як залежать в'язкість рідини та в'язкість газу від температури?

7 У чому полягає метод експериментального визначення коефіцієнта в'язкості газів, використаний у цій роботі?

8 Запишіть формулу для коефіцієнта в'язкості газів. Поясніть зміст величин, що входять у цю формулу.

9 Запишіть формулу середньої довжини вільного пробігу молекул ідеального газу $\langle \lambda \rangle$.

10 Запишіть формулу середньої арифметичної швидкості молекул ідеального газу $\langle v \rangle$. Як вона залежить від температури?

Звіт про виконану роботу

1 Робочі формули:

$$\eta = \frac{\pi r^4 \Delta p t}{8 V l} \text{ – коефіцієнт в'язкості газів;}$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{p M}{R T} \text{ – густина повітря;}$$

$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8 R T}{\pi M}}$ – середня арифметична швидкість молекул повітря;

$\langle \lambda \rangle = \frac{3 \eta}{\rho \langle v \rangle}$ – середня довжина вільного пробігу молекул повітря;

$$n_0 = \frac{p}{k T} \text{ – кількість молекул в одиниці об'єму;}$$

$$d_{\text{ef}} = \frac{1}{\sqrt{\sqrt{2} \pi \langle \lambda \rangle n_0}} \text{ – ефективний діаметр молекули.}$$

1.1 Величини, що вимірюються:

Δh – різниця рівнів рідини у манометрі, $[\Delta h] = \text{мм}$,

t – час витікання води з посудини, $[t] = \text{с}$,

T – температура повітря в лабораторії, $[T] = \text{К}$,

V – об'єм води, що витекла з посудини, $[V] = \text{м}^3$.

1.2 Табличні величини:

$M = 29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ – молярна маса повітря,

$R = 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$ – універсальна газова стала,

$k = 1,38 \text{ Дж/К}$ – стала Больцмана.

1.3 Величини, що обчислюються:

$\Delta p = 9.8 \Delta h$ – різниця тисків на кінцях капіляра,

η – коефіцієнт в'язкості газів, $[\eta] = \text{Па}\cdot\text{с}$;

ρ – густина повітря, $[\rho] = \text{кг}/\text{м}^3$;

$\langle v \rangle$ – середня арифметична швидкість молекул повітря,
 $[v] = \text{м}/\text{с}$;

$\langle \lambda \rangle$ – середня довжина вільного пробігу молекул повітря,
 $[\lambda] = \text{м}$;

n_0 – кількість молекул в одиниці об'єму, $[n_0] = \text{м}^{-3}$;

d_{ef} – ефективний діаметр молекули, $[d_{\text{ef}}] = \text{м}$.

2 Результати експерименту:

Таблиця 28.1

r , м	l , м	V , м ³	Δh , мм	T , К	p , Па

3 Обробка результатів експерименту:

$$\eta = \frac{\pi r^4 \Delta p t}{8 V l} = \quad ;$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{pM}{RT} = \quad ;$$

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} = \quad ;$$

$$\langle \lambda \rangle = \frac{3\eta}{\rho \langle v \rangle} = \quad ;$$

$$n_0 = \frac{p}{kT} = \quad ;$$

$$d_{\text{ef}} = \frac{1}{\sqrt{\sqrt{2\pi} \langle \lambda \rangle n_0}} = \quad .$$

4 Висновки: _____

Лабораторна робота 29 ВИЗНАЧЕННЯ ВІДНОШЕННЯ МОЛЯРНИХ ТЕПЛОЄМНОСТЕЙ ПОВІТРЯ МЕТОДОМ АДІАБАТИЧНОГО РОЗШИРЕННЯ

Мета роботи: ознайомлення з ізопроцесами в газах і визначення відношення C_p / C_v для повітря.

Прилади і матеріали: лабораторна установка для визначення показника адіабати.

Теоретичні відомості

Процес, який здійснюється без теплообміну із зовнішнім середовищем, називається адіабатним. Залежність тиску газу p від об'єму V описується при цьому рівнянням Пуассона

$$pV^\gamma = const,$$

де $\gamma = C_p / C_v$ – показник адіабати, C_p і C_v – молярні теплоємності газу відповідно при сталому тиску і сталому об'ємі.

Відношення теплоємностей газу $\gamma = C_p / C_v$ можна визначити за методом Клемана і Дезорма. Це здійснюється на лабораторній установці, зображеній на рисунку 29.1. Вона складається з балона з повітрям A , манометра M для вимірювання різниці тисків усередині і поза балоном, гумової груші B , призначеної для створення в балоні надлишкового тиску.

При відкритому крані K_1 і закритому крані K_2 у балон накачується повітря. Тиск повітря становитиме $p_1 = H + h_1$, де h_1 – різниця

рівнів рідини в колінах U – подібної трубки манометра, мм; H – атмосферний тиск, мм.

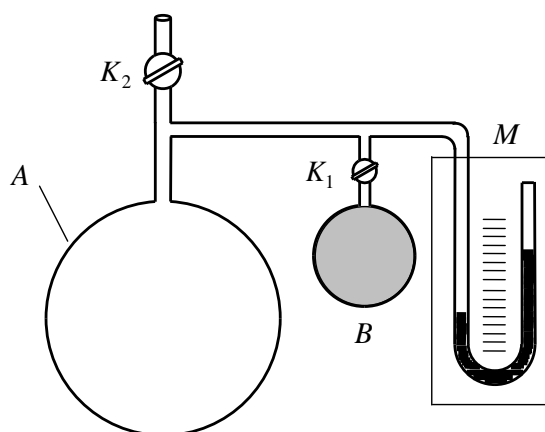


Рисунок 29.1

При швидкому підвищенні тиску температура повітря в балоні підвищується, тому показання манометра слід знімати через 2 – 3 хв. За цей час завдяки теплообміну температура повітря в балоні зрівняється з кімнатною (про це можна судити по припиненню зміни показань манометра). Стан одиниці маси газу характеризуватиметься при цьому параметрами:

$$p_1 = H + h_1, V_1, T_1, \quad (\text{стан I})$$

Якщо відкрити кран K_2 , повітря в балоні розшириться і тиск стане рівним атмосферному тиску H . Процес розширення газу відбувається швидко, протягом частки секунди, і його можна вважати адіабатним, тобто таким, що відбувається без теплообміну з навколишнім середовищем. Теплопередача через стінки балона – повільний процес і за такий короткий час не встигає відбутися. При адіабатному розширенні температура повітря у балоні знижується до T_2 ($T_2 < T_1$), а об'єм одиниці маси збільшується до V_2 ($V_2 > V_1$). Таким чином, безпосередньо після розширення параметрами повітря в балоні будуть:

$$p_2 = H, V_2, T_2. \quad (\text{стан II})$$

Кран K_2 слід негайно закрити. Через 2 – 3 хв повітря в балоні нагріється до кімнатної температури T_1 , а його тиск зросте до величини $p_3 = H + h_2$, де h_2 – нова різниця рівнів у колінах манометра. Об'єм одиниці маси не зміниться, тобто дорівнюватиме V_2 . У результаті одержимо такі параметри:

$$p_3 = H + h_2, V_2, T_1. \quad (\text{стан III})$$

Перехід зі стану I у стан II описується рівнянням Пуассона $p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma$, тобто $(H + h_1) V_1^\gamma = H V_2^\gamma$, звідки

$$\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^\gamma = \frac{H}{H+h_1}. \quad (29.1)$$

Оскільки в станах I і III температура газу однакова, можна використати закон Бойля–Маріотта і записати

$$(H+h_1)V_1 = (H+h_2)V_2,$$

звідки

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{H+h_2}{H+h_1}. \quad (29.2)$$

Піднесемо рівняння (29.2) до степені γ та прирівняємо до рівняння (29.1):

$$\frac{H}{H+h_1} = \left(\frac{H+h_2}{H+h_1}\right)^\gamma. \quad (29.3)$$

Поділивши чисельники і знаменники дробів на H і прологарифмувавши вираз, одержимо

$$\gamma = \frac{\ln\left(1+\frac{h_1}{H}\right)}{\ln\left(1+\frac{h_1}{H}\right) - \ln\left(1+\frac{h_2}{H}\right)}. \quad (29.4)$$

Оскільки $h_1 \ll H, h_2 \ll H$, то їхні відношення під знаками логарифмів малі порівняно з одиницею. Тоді можна скористатися наближеною рівністю $\ln(1+x) \approx x$ (при $x \ll 1$), після чого одержимо просту формулу для обчислення показника адиабати γ за вимірними надлишковими тисками h_1 і h_2 :

$$\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_2}. \quad (29.5)$$

Послідовність виконання роботи

1 Накреслити таблицю вимірюваних величин за зразком, наведеним у таблиці 29.1.

2 При закритому крані K_2 і відкритому крані K_1 за допомогою насоса накачати повітря в балон, поки різниця рівнів у манометрі не досягне 30-40 мм, і закрити кран K_1 . Через 2-3 хв за манометром визначити h_1 і занести в таблицю.

3 Відкрити кран K_2 на 1 – 1,5 с, поки тиск повітря у балоні не зрівняється із зовнішнім тиском, і потім закрити його. Через 2-3 хв за манометром визначити h_2 і занести у таблицю.

4 Провести цей дослід п'ять разів.

5 За формулою (29.5) визначити γ для кожного з дослідів і обчислити його середнє значення $\langle \gamma \rangle$.

6 Проаналізувати результати і зробити висновки.

7 Підготувати відповіді на контрольні питання.

Контрольні питання

1 Якими термодинамічними параметрами характеризується стан даної маси газу? Запишіть рівняння стану ідеального газу.

2 Які ізопроееси в газах вам відомі?

3 Який процес називається адіабатним?

4 Запишіть рівняння Пуассона.

5 Зобразіть на Vp – діаграмі графіки ізотермічного й адіабатного процесів.

6 Визначте молярні теплоємності газу C_p і C_v – відповідно при сталому тиску і сталому об'ємі.

7 Сформулюйте рівняння Майєра, яке пов'язує теплоємності газу C_p і C_v .

8 Чому дорівнює теоретичне значення відношення $\gamma = C_p / C_v$?

9 Знайдіть числові значення γ для гелію та вуглекислого газу.

10 У чому полягає метод експериментального визначення γ , використаний у цій роботі?

Звіт про виконану роботу

1 Робоча формула

$$\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_2} - \text{показник адіабати газу.}$$

1.1. Величини, що вимірюються:

h_1, h_2 – різниці рівнів рідини у манометрі, $[h_1] = [h_2] = \text{мм}$;

1.2 Величини, що обчислюються:

γ – показник адіабати повітря, $[\gamma] = 1$.

2 Результати експерименту:

Таблиця 29.1

Номер досліду	h_1 , мм	h_2 , мм	γ	$\langle \gamma \rangle$
1				
2				
3				
4				
5				

3 Обробка результатів експерименту:

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

$$\langle \gamma \rangle = \frac{\gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 + \gamma_4 + \gamma_5}{5}.$$

4 Висновки:
