

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ
Кафедра електричної інженерії та автоматизації

СПЕЦРОЗДІЛИ ФІЗИКИ

методичні вказівки для виконання
лабораторних робіт (робочий зошит)

для здобувачів вищої освіти на першому (бакалаврському) рівні
денної та заочної форм навчання

РЕКОМЕНДОВАНО

на засіданні кафедри електричної
інженерії та автоматизації
(протокол № 2 від 18.09.2025 р.)

ПОГОДЖЕНО

Науково-методичною радою Державного
університету економіки і технологій
(протокол № 3 від «21»10.2025 р.)

м. Кривий Ріг
2025 р.

ЗМІСТ

1. Лабораторна робота №1 Вивчення удару	4
2. Лабораторна робота №2 Визначення моменту інерції хрестоподібного маховика	12
3. Лабораторна робота №3 Визначення коефіцієнта внутрішнього тертя	18
4. Лабораторна робота №4 Визначення коефіцієнта поверхневого натягу рідини	23
5. Лабораторна робота №5 Визначення насипної щільності вугілля	28
6. Лабораторна робота №6 «Вивчення властивостей феромагнетиків»	35
7. Лабораторна робота №7 «Вивчення теплового випромінювання»	42
8. Лабораторна робота №8 «Вимірювання довжини хвиль у спектрі водню за допомогою спектроскопа та визначення сталої Рідберга та сталої Планка»	50
9. Лабораторна робота №9 Вивчення містка постійного струму (Уітстона)	60
10. Лабораторна робота №10 «Вимір індуктивності і ємності в ланцюгах низької частоти»	65
СПИСОК ВИКОРИСТОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	72

Лабораторна робота №1

ВИВЧЕННЯ УДАРУ

Прилади та матеріали: прилад для дослідження зіткнень куль на основі двох маятників, електромагніт, джерело постійного струму, ключ.

Мета роботи: експериментальна перевірка законів збереження імпульсу і механічної енергії на прикладі зіткнення двох куль

Ідея досліду: дві сталевих кулі підвішені на нитках. Одну з куль відводять в сторону і спостерігають зіткнення. Величина відхилу куль дозволяє визначити їх швидкості. Порівнюючи швидкості куль до і після удару, перевіряють справедливість законів збереження імпульсу і енергії.

Теоретичні відомості

Імпульсом матеріальної точки (тіла) називається векторна величина, що дорівнює добутку маси матеріальної точки на її швидкість:

$$p = mv \quad (1.1)$$

Імпульсом системи тіл називається векторна сума імпульсів всіх тіл, що входять у систему.

У замкненій системі тіл, тобто в системі, на яку не діють зовнішні сили, або в системі, для якої векторна сума всіх зовнішніх сил дорівнює нулю, повний імпульс системи матеріальних точок зберігається, тобто є величиною постійною:

$$p = \sum_{i=1}^n p_i = \text{const} \quad (1.2)$$

В цьому полягає **закон збереження імпульсу**.

Прикладом застосування законів збереження імпульсу і механічної енергії може бути явище удару. Під **ударом** розуміється короткочасна взаємодія двох або більше тіл, що виникає в результаті їхнього зіткнення. Ця взаємодія триває такий короткий проміжок часу (іноді вимірюваний десятками мікросекунд (10^{-3} - 10^{-6} с)) і при цьому виникають настільки великі внутрішні сили взаємодії, що зовнішніми силами (силою тяжіння, силою натягу підвісу) можна знехтувати. Тоді систему тіл, які стикаються, можна вважати замкненою і застосовувати до неї закон збереження імпульсу.

Існують два граничних виду удару.

Абсолютно пружним – удар після якого тіла розлітаються зі швидкостями, величина і напрямок яких визначаються законами збереження повної енергії та збереження повного імпульсу системи.

При такому ударі кінетична енергія тіл в момент удару повністю або частково переходить в потенційну енергію пружної деформації, в результаті чого тіла повертаються до початкової форми, відштовхуючи одне одного, потенційна енергія пружної деформації знову переходить у кінетичну енергію тіл, тобто механічна енергія тіл не розсіюється на немеханічні види енергії.

Прикладом такого удару може бути зіткнення більярдних куль із слонової кістки.

Абсолютно пружних ударів в природі не існує, оскільки завжди частина енергії витрачається на необоротну деформацію тіл. Однак для деяких тіл, наприклад, сталевих загартованих або більярдних куль, втратами механічної енергії при

зіткненні можна знехтувати і вважати удар абсолютно пружним.

Абсолютно непружним називається удар, при якому після зіткнення тіл вони не відновлюють повністю свою форму, з'єднуються одне з одним і рухаються як єдине ціле з однією швидкістю. При цьому ударі частина їх механічної енергії переходить в роботу деформації тіл і їх внутрішню енергію (нагрів). Прикладом може служити зіткнення двох куль з пластиліну.

Центр мас (центр інерції) - це геометрична точка, що характеризує розподіл маси в тілі чи в механічній системі. Радіус-вектор центра мас визначається співвідношенням:

$$R_c = \frac{\sum_{i=1}^n m_i R_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (1.3)$$

де m_i - маса,

R_i - радіус-векторі і-того тіла.

В реальних умовах при взаємному зіткненні тіла деформуються. При цьому кінетична енергія, яку мали тіла перед ударом, частково або повністю переходить в потенційну енергію пружної деформації або в так звану внутрішню енергію тіл. Збільшення внутрішньої енергії тіл супроводжується підвищенням їх температури.

Під час руху механічної системи її центр мас рухається так, як рухалась би матеріальна точка, що має масу, рівну масі системи і яка знаходиться під дією всіх зовнішніх сил, прикладених до системи. З останнього визначення та з закону збереження імпульсу випливає, що центр мас ізольованої системи або знаходиться в стані спокою, або рухається з сталою швидкістю.

До числа найважливіших відноситься закон збереження енергії, але в ньому мова йде про повну енергію системи, яка складається з енергії всіх видів руху матеріальних тіл. Для механічної енергії, що рівна сумі кінетичної та потенціальної енергії, також може бути сформульований закон збереження, але він не являється загальним, а відноситься до числа законів, які справджуються тільки для обмеженого класу систем і явищ. Механічна енергія зберігається при умові дії між тілами системи тільки консервативних сил. Консервативними називають такі сили, робота яких не залежить від форми шляху. До числа консервативних відносяться гравітаційні, пружні, електростатичні та деякі інші сили. Закон збереження механічної енергії має таке формулювання: повна

механічна енергія ізольованої системи тіл, між якими діють тільки консервативні сили, залишається сталою.

Кажучи про закони збереження, слід відмітити, що особливо важливу роль ці закони відіграють в теорії елементарних частинок, де крім уже відомих відкрито багато специфічних законів збереження: баріонного заряду, лептонного заряду та інші. Значення законів збереження в теорії елементарних частинок визначається тим, що вони дозволяють легко знаходити правила відбору для реакцій між елементарними частинками, тобто встановлювати, які реакції в природі можливі, а які заборонені.

Згідно з сучасним уявленням закони збереження тісно пов'язані з властивостями симетрії фізичних систем. Теорема Нетер стверджує, що наявність у системі симетрії призводить до того, що для цієї системи існує фізична величина, яка зберігається. Ця теорема є особливо важливою, бо вона дозволяє на основі експериментально виявлених законів збереження робити висновки про фундаментальні властивості світу, в якому ми живемо. Так, наприклад, збереження енергії, імпульсу та моменту імпульсу зв'язані відповідно з однорідністю часу, однорідністю простору та ізотропністю простору.

Тому перевірка законів збереження являється одночасно перевіркою відповідних властивостей симетрії простору і часу.

Застосуємо закони збереження для вивчення центрального удару двох куль.

Для прямого центрального удару двох куль їх швидкості до удару (якщо система ізольована, то також і після удару) направлені вздовж прямої, що проходить через центри куль.

Замкненою системою називають сукупність тіл, що взаємодіють між собою і не взаємодіють з оточуючими тілами. Тіла, що взаємодіють, змінюють характер свого руху. Можливість тіла в разі взаємодії виконати роботу називають енергією. У механіці розрізняють два види енергії: кінетичну та потенціальну. Енергію, що зумовлена рухом тіла, тобто його швидкістю, називають **кінетичною** W_k . У разі поступального руху:

$$W_k = \frac{m \cdot v^2}{2} \quad (1.4)$$

де m - маса тіла;

v^2 - лінійна швидкість тіла.

Енергію, що зумовлена взаємним розміщенням тіл або частин тіла одне відносно одного, називають **потенціальною** W_n . У полі тяжіння Землі:

$$W_n = mgh \quad , \quad (1.5)$$

де m - маса тіла;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ - прискорення вільного падіння;

h – висота розміщення тіла над рівнем, для якого взято $W_n = 0$

Суму кінетичної та потенціальної енергії називають повною енергією тіла й обчислюють за формулою:

$$E = W_k + W_n \quad (1.6)$$

У СІ енергія, як і робота, вимірюється в джоулях: $[E] = 1 \text{ Дж}$.

Згідно із законом збереження енергії в замкненій системі тіл, між якими діють тільки консервативні сили¹⁾, повна механічна енергія є величиною сталою:

$$E = W_k + W_n = \text{const} \quad (1.7)$$

Консервативна система – це система тіл, на які діють тільки консервативні (потенціальні) сили, тобто сили, для яких виконується умова

$$\oint Fdl = 0 \quad (1.8)$$

– робота консервативної сили по замкнутому контуру дорівнює нулю. Прикладом консервативних сил є сили гравітаційні, пружні, електричні; прикладом неконсервативних сил є сили тертя.

Метод та експериментальна установка

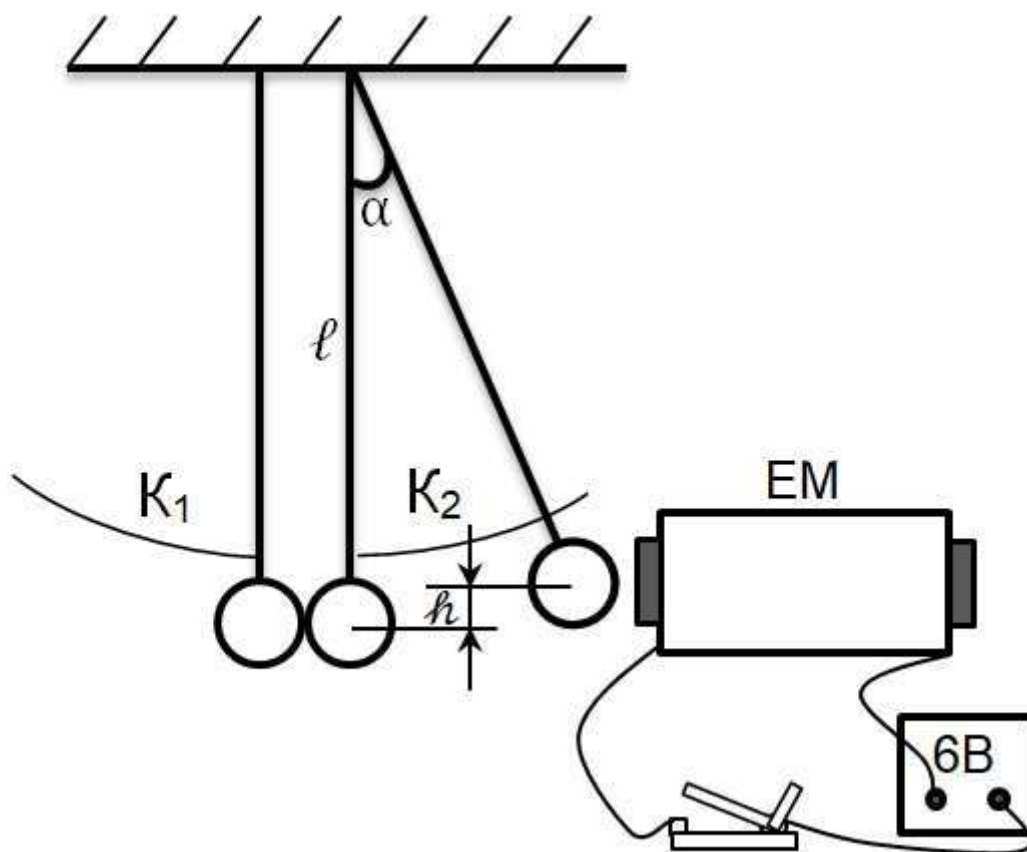


Рис. 1.1 – Схема установки

Для проведення дослідження візьмемо систему із двох абсолютно пружних куль однакової маси $m_1 = m_2$. Для того, щоб удар був прямим і центральним, потрібно домогтися, щоб довжини ниток, на яких висять кулі, були однаковими. Розглянемо абсолютно пружний центральний удар двох однорідних куль масами m_1 і m_2 , швидкостями v_1 і v_2 до удару та u_1 і u_2 після удару.

Закони збереження імпульсу та енергії системи кульок:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 u_1 + m_2 u_2, \quad (1.9)$$

де m_1 і m_2 – маси куль, які співударяються, причому $m_1 = m_2$;
 v_1 і v_2 – швидкості куль перед ударом; якщо одна з куль перед ударом перебуває у спокої, то $v_2 = 0$;
 u_1, u_2 – швидкості куль після удару.

Враховуючи сказане вище, закон збереження імпульсу запишеться так:

$$v_1 = u_1 + u_2. \quad (1.10)$$

Оскільки при ударі потенційна енергія куль не змінюється, закон збереження механічної енергії запишеться так:

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 u_1^2}{2} + \frac{m_2 u_2^2}{2} \quad (1.11)$$

або, з огляду на те, що $m_1 = m_2, v_2 = 0$

$$v_1^2 = u_1^2 + u_2^2. \quad (1.12)$$

Отримаємо швидкості куль після удару:

$$\vec{u}_1 = \frac{\vec{v}_1(m_1 - m_2) + 2m_2 v_2}{m_1 + m_2} \quad (1.13)$$

$$\vec{u}_2 = \frac{\vec{v}_2(m_2 - m_1) + 2m_1 v_1}{m_1 + m_2}$$

Для дослідження абсолютно непружного удару до однієї із куль, які співударяються, необхідно прикріпити маленьку пластилінову прокладку (настільки малу, що її масою можна знехтувати).

Для абсолютно непружного удару закон збереження імпульсу запишеться так:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2)u, \quad (1.14)$$

де u – загальна швидкість куль після непружного удару.

Враховуючи далі, що $m_1 = m_2, v_2 = 0$

$$v_1 = 2u \quad (1.15)$$

Абсолютно непружний удар – удар після якого тіла з'єднуються та разом рухаються з однаковою швидкістю, або зупиняються, тобто кінетична енергія тіл повністю або частково перетворюється у внутрішню енергію, не перетворюючись у потенційну енергію деформації. Наприклад, попадання кулі з гвинтівки у рухому мішень, як ящик з піском, підвішений на мотузці. Куля, застрявши в піску, залишається в ящику і рухається разом з ним.

Закон збереження енергії для абсолютно непружного удару:

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{(m_1 + m_2) u^2}{2},$$

або, з огляду на те, що $m_1 = m_2$, $v_2 = 0$

$$v_1^2 = 2u^2. \quad (1.16)$$

Отже, перевірка законів збереження при абсолютно пружному та абсолютно непружному ударах зводиться в остаточному підсумку до вимірювання швидкостей куль до і після удару та порівняння їх. Величина швидкості кулі визначається із твердження, що при русі математичного маятника відбувається перетворення потенціальної енергії в кінетичну і навпаки. При відхиленні кулі на деякий кут α маятник здобуває деяку потенціальну енергію mgh .

Причому $l - h = l \cos \alpha$, звідки $h = l(1 - \cos \alpha)$, тобто

$$mgh = mgl(1 - \cos \alpha).$$

У момент удару (у момент проходження маятником положення рівноваги) потенціальна енергія переходить у кінетичну, тобто:

$$mgh = \frac{mv^2}{2} \text{ або } mgl(1 - \cos \alpha) = \frac{mv^2}{2},$$

звідки

$$v = \sqrt{2gl(1 - \cos \alpha)} \quad (1.17)$$

Закон збереження імпульсу при абсолютно пружному ударі:

$$\sqrt{1 - \cos \alpha} = \sqrt{1 - \cos \beta} + \sqrt{1 - \cos \alpha_1}. \quad (1.18)$$

Закон збереження механічної енергії при абсолютно пружному ударі:

$$1 - \cos \alpha = (1 - \cos \beta) + (1 - \cos \alpha_1) \quad (1.19)$$

Закон збереження імпульсу при абсолютно непружному ударі:

$$1 - \cos \alpha = 4(1 - \cos \beta) \quad (1.20)$$

Закон збереження механічної енергії при абсолютно непружному ударі:

$$1 - \cos \alpha = 2(1 - \cos \beta) \quad (1.21)$$

Порядок виконання роботи

1. Відрегулюйте установку так, щоб забезпечувався центральний удар: центри мас куль повинні бути на одній висоті і кулі повинні дотикатись одна до одної.
2. Підключіть до електромагніту ЕМ (див. рис. 1.1) через ключ К джерело живлення. Замкніть ключ і підведіть до електромагніту кульку; вона повинна надійно утримуватись у відхиленому стані. Використання електромагніту дозволяє відпускати кульку без поштовху і здійснювати центрування установки.
3. Кут відхилення нитки від положення рівноваги α занести в таблицю 1.1.
4. Розімкнувши коло електромагніта, відпустити першу кулю, і після зіткнення куль виміряти кут β , на який відхиляється друга куля від положення рівноваги. Для одержання більш точного результату кут β виміряти тричі і занести середнє значення у таблицю 1.1. Звернути увагу на те, що після удару перша куля залишається в положенні рівноваги, тобто $\alpha_1 = 0$.
5. Перевіривши справедливність виразів (1.18–1.21), зробити висновок про те, який із законів збереження виконується, а який не виконується при абсолютно пружному та абсолютно непружному ударах. На підставі дослідження визначити, чи є кулі системою замкнутою і консервативною в одному та іншому випадках.
6. Результати вимірювань і обчислень занести у таблицю 1.1.

Таблиця 1.1

Вид удару	α	$\cos\alpha$	$1 - \cos\alpha$	β	$\cos\beta$	$1 - \cos\beta$	α_1	$\cos\alpha_1$	$1 - \cos\alpha_1$
Абсолютно пружний									
Абсолютно непружний									

Контрольні запитання

1. Що називається ударом?
2. Який удар називається абсолютно пружним?
3. Які системи називаються консервативними?
4. Сформулювати закон збереження імпульсу.
5. Сформулювати закон збереження механічної енергії.
6. Записати закон збереження імпульсу для центрального абсолютно пружного удару куль.
7. Записати закон збереження механічної енергії для центрального абсолютно пружного удару куль.
8. Вивести формули для визначення швидкостей куль після абсолютно пружного удару.

Розрахунки до лабораторної роботи №1



Лабораторна робота №2

ВИЗНАЧЕННЯ МОМЕНТУ ІНЕРЦІЇ ХРЕСТОПОДІБНОГО МАХОВИКА

Прилади та матеріали: хрестоподібний маховик, чотири насадки, набір вантажів, секундомір, штангенциркуль, рулетка.

Мета роботи: експериментальне дослідження залежності моменту інерції тіла від маси і розташування маси відносно осі обертання, а також порівняння моменту інерції, знайденого експериментально, з моментом інерції, обчисленим теоретично.

Теоретичні відомості

Моментом інерції абсолютно твердого тіла відносно осі обертання називається фізична величина, яка дорівнює сумі моментів інерції матеріальних точок цього тіла відносно цієї осі:

$$I = \sum_{k=1}^n I_k. \quad (2.1)$$

Абсолютно твердим називається тіло, відстань між будь-якими точками якого залишається сталою при різних переміщеннях тіла у просторі.

Моментом інерції матеріальної точки відносно деякої осі називається скалярна величина, рівна добутку маси цієї точки на квадрат відстані від точки до осі обертання:

$$I_k = m_k \cdot r_k^2. \quad (2.2)$$

Виходячи з визначення, можна стверджувати, що момент інерції залежить від маси тіла і від розташування маси відносно осі обертання.

Моментом I_z сили відносно осі називається скалярна величина, що дорівнює добутку модуля сили на її плече, тобто на довжину перпендикуляра, проведеного від осі до прямої, уздовж якої діє сила. Плече сили F дорівнює радіусу r диска, тобто момент сили

$$I_z = Fr$$

У поступальному русі тіла, мірою інертності є його маса m . Тіло з більшою масою є більш інертним, сильніше «чинить опір» спробам змінити його швидкість. Наприклад, тілу з великою масою, що покоїться, важче надати швидкості, або, навпаки, масивне тіло, що рухається, важче зупинити. В обертальному русі твердого тіла інертність (тобто здатність зберігати кутову швидкість обертання) визначається моментом інерції I_k . Таким чином, момент інерції залежить не тільки від маси тіла, а й того, як ця маса розподілена за об'ємом тіла - далеко чи близько від осі.

Метод та експериментальна установка

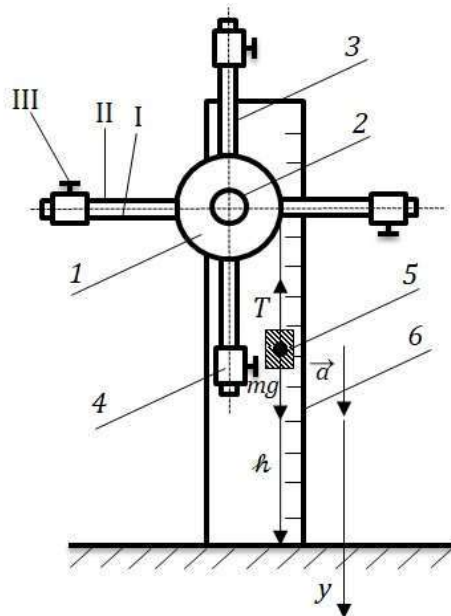


Рис. 2.1

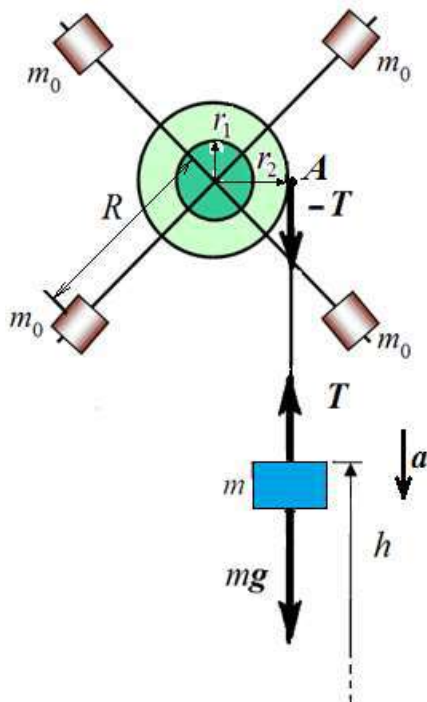


Рис. 2.2

Цю властивість моменту інерції можна ілюструвати за допомогою т. зв. хрестоподібного маятника (рис. 2.1). У його середній частині укріплюються спиці, і є отвір для осі. Таке колесо обертається за допомогою підшипника навколо горизонтальної осі. Уздовж укріплених радіально чотирьох спиць, можуть переміщатися вантажі - насадки, закріплені на спицях за допомогою гвинтів. На обід колеса (званий шківом) намотується нитка. До вільного кінця нитки підвішується масивне тіло. При падінні масивного тіла рух через нитку передається шківу, і хрестовина починає обертатися. Чим далі від осі обертання знаходяться вантажі, тим більшою є сума добутків мас на квадрати їх відстаней від осі – момент інерції. Змінюючи радіус шківу або вагу вантажу, можна змінювати діючий на систему обертаючий момент M . Переміщаючи уздовж спиць насадки m , можна міняти момент інерції системи.

На рис. 2.2 показані сили, що діють на тіла в даній задачі. На падаючий тягар масою m , підвішений на нитці, діють дві сили (рис. 2.2): mg - сила тяжіння - вертикально вниз і T - сила натягу нитки - вертикально вгору. За другим законом Ньютона добуток маси тіла на прискорення дорівнює сумі прикладених сил:

$$ma = mg + T$$

Під дією цих сил падаючий тягар рухається вниз поступально з прискоренням

a. Запишемо другий закон Ньютона в проекціях на вертикаль:

$$ma = mg - T$$

Момент інерції входить в основне рівняння динаміки обертового руху тіла:

$$I \cdot \varepsilon = M. \quad (2.3)$$

де ε – кутове прискорення тіла;

M – обертаючий момент, що діє на тіло.

З виразу (2.3) маємо:

$$I = \frac{M}{\varepsilon}. \quad (2.4)$$

Для визначення обертаючого моменту розглянемо сили, що діють на вантаж (див. рис. 2.1). Із другого закону Ньютона одержуємо:

$$m_0 a = mg - T,$$

звідки

$$T = m_0(g - a).$$

Тому для моменту сили одержуємо

$$M = T \cdot r = m_0(g - a) \cdot r. \quad (2.5)$$

Кутове прискорення маятника визначається зі співвідношення:

$$a = \varepsilon \cdot r,$$

де a – дотичне прискорення точок поверхні шківів та прискорення вантажу, що йому дорівнює 5.

Звідси

$$\varepsilon = \frac{a}{r}. \quad (2.6)$$

Оскільки вантаж m_0 падає рівноприскорено (сили T , mg постійні), то висота падіння h і час падіння t вантажу пов'язані відомим співвідношенням:

$$h = \frac{1}{2} a t^2, \text{ тобто } a = \frac{2h}{t^2}.$$

Підставляючи це співвідношення в (2.5) і (2.6), отримані вирази – в (2.4), приходимо до формули:

$$I_k = m_0 r^2 \left(\frac{g t^2}{2h} - 1 \right), \quad (2.7)$$

де $k = 0, 1, 2$.

Ця формула використовується для **експериментального знаходження моменту інерції** хрестоподібного маховика, оскільки всі величини, що входять у неї, легко визначаються з експерименту.

Визначення **теоретичного значення моменту інерції** виконується за формулою:

$$I_T = I_0 + 4 \cdot m_{\text{сер}} \cdot R^2, \quad (2.8)$$

де $m_{\text{сер}}$ – середня маса однієї насадки на спицях;

R – відстань від осі;

I_0 – момент інерції маховика без насадок, що визначається експериментально.

Порядок виконання роботи

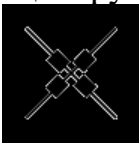
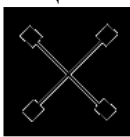
1. За допомогою штангенциркуля визначити діаметр, вказаного викладачем, шківів і знайти середнє значення діаметра (d) й радіуса шківів (r).
2. Визначити момент інерції маховика, для чого зняти насадки зі спиць. На кінець нитки прикріпити тягар m . Обертанням хрестовини намотати нитку

- на шків радіуса r і підняти тягар вгору. Нитка при намотування має знаходитися з правого боку шківів.
3. Рулеткою виміряти висоту падіння вантажу h (для зручності h у досліді не змінюють); визначити час падіння вантажу t . Дослід повторюється три рази і визначається $t_{\text{сеп}}$.
 4. По формулі (2.7) знайти I_0 , тобто момент інерції маховика без насадок.
 5. Збільшити масу маховика. Для цього, зваживши на технічних терезах насадки й визначивши середнє значення маси насадки $m_{\text{сеп}}$, закріпити їх на спицях, розташовуючи на однаковій відстані від осі обертання (спочатку по центру спиці). Визначити відстань від осі обертання до центру насадки R .
 6. Визначити експериментально момент інерції I_1 маховика з насадками, розташованими по центру спиць. Для цього зробити вимірювання, зазначені в п. 3, після чого по формулі (2.7) обчислити I_1 .
 7. Змінити розташування маси маховика відносно осі обертання. Для цього змістити насадки на кінці спиць і розташувати їх на рівній відстані від осі обертання. Виміряти цю відстань R .
 8. Визначити експериментально момент інерції I_2 маховика з насадками, розташованими на кінцях спиць. Для цього зробити вимірювання, зазначені в п. 3, після чого по формулі (2.7) обчислити I_2 .
 9. По формулі (2.8) визначити теоретичні значення моменту інерції I_{T1}, I_{T2} .
 10. Обчислити відносне відхилення експериментального значення I_k від теоретичного I_T , тобто величину

$$\varepsilon_1 = \frac{I_{T1} - I_1}{I_{T1}} \cdot 100\%; \quad \varepsilon_2 = \frac{I_{T2} - I_2}{I_{T2}} \cdot 100\%.$$

11. Результати вимірювань та обчислень занести в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1

Вид досвіду	d ; m	r ; m	h ; m	t ; c	$t_{\text{сеп}}$; c	m_0 ; кг	I_k	$m_{\text{сеп}}$; кг	R ; m	I_T	ε_k
Без насадок						0,2	$I_{k.1} =$	-	-	-	-
Насадки по центру 						0,2	$I_{k.2} =$	0,18		$I_{T1} =$	
Насадки на кін- цях 						0,2	$I_{k.3} =$	0,18		$I_{T2} =$	

12. Порівнявши значення моменту інерції I_0 без насадок, з насадками по центру спиць, зробити висновок, чи залежить момент інерції від маси і розташування цієї маси відносно осі обертання.

Контрольні запитання

1. Що називається моментом інерції твердого тіла? точки?
2. Від яких величин залежить момент інерції тіла?
3. Яка мета роботи?
4. Чи можна змінювати обертаючий момент, що діє на маховик? Як?
5. Чи можна змінювати момент інерції маховика? Як?
6. З якого співвідношення можна знайти експериментальне значення моменту інерції маховика?
7. Як визначити теоретичне значення моменту інерції маховика?
8. Як у роботі досліджувати залежність моменту інерції маховика від маси? Який результат дослідження? (Поясніть на прикладі значень, отриманих у роботі).
9. Як у роботі досліджувати залежність моменту інерції від розташування маси щодо осі обертання? Який результат дослідження?
10. Порівняйте виміряні на досліді значення моменту інерції маятника зі зсунутими і розсунутими насадками. Зробіть висновок.
11. Момент якої сили змушує маятник обертатися?

Розрахунки до лабораторної роботи №2



Лабораторна робота №3

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ВНУТРІШНЬОГО ТЕРТЯ

- Прилади і матеріали:** прилад Стокса (скляний циліндр з рідиною), мікроскоп, секундомір, кульки різного діаметра, масштабна лінійка
- Мета роботи:** експериментально визначити коефіцієнт внутрішнього тертя рідини (в'язкості) методом падаючої кульки, який запропонував Стокс.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

В'язкість або **внутрішнє тертя** – властивість газів та рідин чинити опір переміщенню однієї їх частини відносно іншої.

Беручи участь у тепловому русі, молекули газу або рідини переносяться з одного місця в інше й при зіткненні змінюють значення й напрямки своїх швидкостей. Відбуватися постійне перемішування молекул і передача ними при зіткненнях імпульсів й енергій один одному. Все це сприяє згладжуванню різних неоднородностей і дає початок декільком процесам залежно від характеру існуючих відмінностей.

Якщо в різних частинах є різні гази або рідини, то тепловий рух перемішує їх до утворення однорідної суміші молекул. Цей процес називається **дифузією**.

Якщо одні області відрізняються від інших своєю температурою (тобто кінетичною енергією), то тепловий рух і зіткнення молекул приводять до вирівнювання температур. Відбувається процес **теплопровідності**.

Якщо є шар газу або рідини, що рухається щодо іншої його маси з деякою швидкістю, то обмін молекулами між шаром, що рухається, і іншою частиною газу супроводжується переносом імпульсу й приводить до вирівнювання швидкостей окремих шарів. Цей процес супроводжується перетворенням кінетичної енергії впорядкованого руху молекул даного шару в енергію хаотичного теплового руху й називається **внутрішнім тертям**, або **в'язкістю**.

Всі три явища – дифузія, теплопровідність і внутрішнє тертя, об'єднані під загальною назвою **явищ переносу**, – мають багато загального. У всіх трьох явищах відбувається перенос певних величин (маси, енергії або імпульсу) з однієї частини об'єму в іншу те тих пор, поки дана величина не розподілиться рівномірно по всьому об'ємі.

Метою даної роботи є вивчення явищ переносу й визначення коефіцієнта в'язкості рідини методом Стокса.

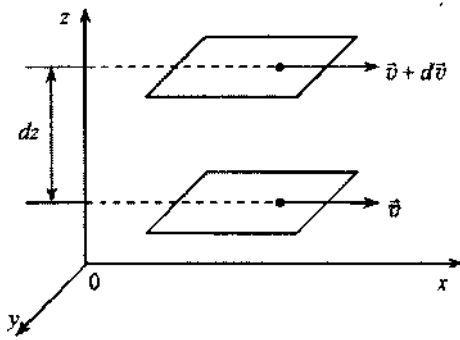


Рис. 3.1

У рідинах і газах під час їхнього плину виникають сили внутрішнього тертя. Природа цих сил полягає в тому, що шари, що рухаються з різними швидкостями, обмінюються молекулами. Виділимо в потоці рідини або газу два шари площею ΔS кожний, що перебувають друг від друга на відстані dz (мал. 3.1). Швидкість спрямованого руху одного шару $\vec{v} + d\vec{v}$, іншого – \vec{v} . За рахунок

хаотичного теплового руху молекули переходять із шару в шар.

Молекули, що переходять зі швидкого шару в повільний, мають більший імпульс спрямованого руху й прискорюють повільний шар. Молекули, що попадають із повільних шарів у швидкі, мають менший імпульс спрямованого руху, у результаті чого затримують або гальмують швидкий шар. Відбувається перенос імпульсу спрямованого руху. Зміна імпульсу супроводжується появою сили на поверхні роздягнула середовищ.

У випадку ламінарного або безвихрового плину рідини виконується **закон Ньютонна**: сила внутрішнього тертя між двома шарами пропорційна площі їхнього торкання ΔS і градієнта швидкості dv/dz :

$$F = \eta \frac{dv}{dz} \Delta S.$$

Величина η називається **коефіцієнтом внутрішнього тертя** або коефіцієнтом динамічної в'язкості. В одиницях СІ розмірність коефіцієнта $[\eta] = [\text{кг}/\text{м}\cdot\text{с}]$. Градієнт швидкості dv/dz характеризує зміну швидкості руху шарів на одиницю довжини у напрямку нормалі швидкості руху шарів.

Метод й експериментальна установка

Прилад Стокса складається зі скляного циліндра, наповненого досліджуваною рідиною і який має міліметрову шкалу.

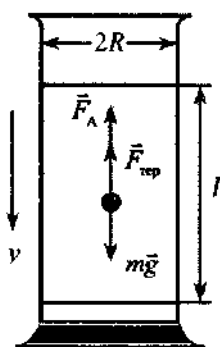


Рис. 3.2

Розглянемо вільне падіння кульки радіусом r у грузлої рідини, що спочиває в циліндричній посудині (мал. 3.2). При падінні кульки на неї діє три сили: сила ваги $m\vec{g}$; сила Архімеда \vec{F}_A й сила грузлого тертя $\vec{F}_{\text{тр}}$. Відповідно до основного рівняння динаміки

$$m\vec{g} + \vec{F}_A + \vec{F}_{\text{тр}} = m\vec{a}, \text{ або } mg - F_A - F_{\text{тр}} = ma.$$

Спочатку швидкість кульки зростає, але оскільки в міру збільшення швидкості сила опору також зростає, насту-

пає такий момент, коли сила ваги врівноважується сумою сил виштовхування й внутрішнього тертя; рівнодіюча всіх сил стає рівною нулю, і в цьому випадку кулька рухається з постійною швидкістю v .

Тоді рівняння руху кульки приймає вид:

$$mg - F_A - F_{\text{тр}} = 0.$$

Сила тертя залежить від багатьох факторів: в'язкості рідини, форми тіла, характеру обтікання й т.д. Стокс одержав рішення завдання про ламінарне обтікання кульки нескінченною рідиною. У цьому випадку сила опору F визначається формулою $F = 6\pi\eta rv$, де η – коефіцієнт внутрішнього тертя рідини; v – швидкість кульки; r – його радіус.

Сила ваги $mg = \rho V = \rho \frac{4}{3} \pi r^3$, де ρ - щільність матеріалу кульки.

Сила Архімеда $F_A = \rho_{\text{ж}} g V = \rho_{\text{ж}} \frac{4}{3} \pi r^3 g$, де $\rho_{\text{ж}}$ – щільність рідини.

Підставивши в рівняння руху кульки вираження для всіх сил, одержимо

$$\frac{4}{3} \pi r^3 g (\rho - \rho_{\text{ж}}) - 6\pi\eta rv = 0.$$

Звідси

$$\eta = \frac{2r^2 g}{9v} (\rho - \rho_{\text{ж}}).$$

Швидкість кульки можна одержати, знаючи відстані між мітками на посудині й час t , за яке кулька проходить ці відстані. Уважаючи, що до моменту проходження верхньої мітки її швидкість уже встановилася, одержуємо таке вираження:

$$v = \frac{l}{t}.$$

Тоді

$$\eta = \frac{2r^2 g t}{9l} (\rho - \rho_{\text{ж}}).$$

Порядок виконання роботи

7. За допомогою відлікового мікроскопа виміряти діаметр d одного з кульок і його значення занести в таблицю 3.1.
8. За допомогою пінцета обмірювана кулька опустити в посудину з досліджуваною рідиною по можливості по осі посудини. Після проходження кулькою 2-3 см включити секундомір, помітити розподіл шкали, що служить початком відліку руху кульки h_1 , і занести його в таблицю 3.1.
9. При проходженні кулькою одного з останніх розподілів шкали виключити секундомір. Номер розподілу, що служить кінцем шляхи кульки h_2 і час руху кульки t занести в таблицю 3.1.

10. Повторити весь дослід 3-5 разів і дані занести в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1

№ п/п	d , м	h_1 , м	h_2 , м	l ($h_2 - h_1$)	t , с	$\rho_{ж}$, кг/м ³	ρ , кг/м ³	η	$\Delta\eta$	$\frac{\Delta\eta_{cp}}{\eta_{cp}}$
1						$1,26 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^3$			
2						$1,26 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^3$			
3						$1,26 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^3$			
4						$1,26 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^3$			
5						$1,26 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^3$			
Середнє										

11. Розрахувати коефіцієнт внутрішнього тертя для кожного досвіду. Результати обчислень занести в таблицю 3.1.

12. Зробити оцінку отриманого виміру. Для цього обчислити абсолютну й відносну погрішності виміру й записати остаточний результат у вигляді

$$\eta = \eta_{cp} \pm \Delta\eta_{cp}, \text{ кг/м}\cdot\text{с}$$

Контрольні питання

1. До яких явищ ставиться внутрішнє тертя? Які ще явища ставляться до цього ж типу явищ? Що їх поєднує?
2. Яка природа внутрішнього тертя?
3. Якому закону підкоряється внутрішнє тертя? Як він записується, як читається?
4. Що називається коефіцієнтом внутрішнього тертя або динамічною в'язкістю?
5. У яких одиницях він вимірюється?
6. У чому полягає метод Стокса? Які умови рівномірного падіння кульки в рідині?
7. Як виходить закон Стокса із закону Ньютона?
8. Що таке градієнт якої-небудь величини? Зокрема, що таке градієнт швидкості?

Розрахунки до лабораторної роботи №3



Лабораторна робота №4

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПОВЕРХНЕВОГО НАТЯГУ РІДИНИ

Прилади й матеріали: установка для визначення коефіцієнта поверхневого натягу рідини методом відриву краплі.

Теоретичні відомості

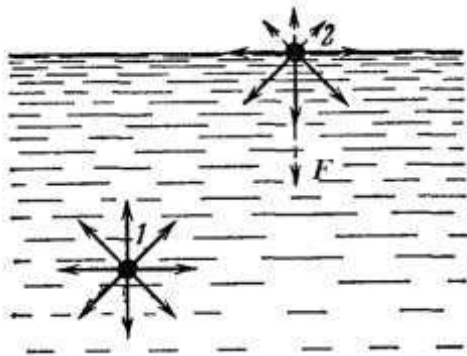


Рис. 4.1

На поверхні рідини, поблизу границі, що розділяє рідину і її пару, молекули зазнають міжмолекулярної взаємодії не такої, як молекули, що перебувають всередині об'єму рідини.

Молекула 1, оточена з усіх боків іншими молекулами тієї ж рідини, зазнає в середньому однакові сили притягання до всіх своїх сусідів. Ці сили в середньому взаємно компенсують одна одну, і їх рів-

нодійна дорівнює нулю (рис. 1). Молекула 2 зазнає меншого притягання вгору з боку молекул пари й більше притягання вниз із боку молекул рідини. На рис. 4.1 сили притягання молекули 2 до молекул пари показані пунктиром. У результаті на молекули, розташовані в поверхневому шарі, діє напрямлена вниз рівнодійна F сил, яку прийнято відносити до одиниці площі поверхневого шару. Для перенесення молекул із глибини об'єму рідини в її поверхневий шар необхідно виконати роботу для подолання сили F .

Коефіцієнтом поверхневого натягу рідини називається робота, необхідна для ізотермічного збільшення площі поверхні рідини на одиницю:

$$\alpha = \frac{\Delta A}{\Delta S}. \quad (4.1)$$

Якщо поверхня рідини обмежена периметром змочування, то коефіцієнт поверхневого натягу чисельно дорівнює силі, що діє на одиницю довжини периметра змочування й напрямлена перпендикулярно до цього периметра:

$$\alpha = \frac{F_n}{l}, \quad (4.2)$$

де l – довжина периметра змочування, F_n – **сила поверхневого натягу**, що діє на довжині l периметра змочування. Сила поверхневого натягу лежить у площині, дотичній до поверхні рідини.

У СІ коефіцієнт поверхневого натягу вимірюється в ньютонках на метр (Н/м).

Коефіцієнт поверхневого натягу зменшується з підвищенням температури і є дуже чутливим до домішок.

На границі зіткнення твердих тіл з рідинами спостерігаються явища **змо-**

чужання, які полягають у викривленні вільної поверхні рідини біля твердої стінки посудини. Поверхня рідини, викривлена на границі із твердим тілом, називається **меніском**. Лінія, по якій меніск перетинається із твердим тілом, називається **периметром змочування**.

Явище змочування характеризується **крайовим кутом** θ між поверхнею твердого тіла та меніском у точках їхнього перетину, тобто у точках периметра змочування. Рідина називається такою, що **змочує** тверде тіло, якщо крайовий кут гострий: $0 \leq \theta < \pi/2$ (рис. 4.2, а). Для рідин, що **не змочують** тверде тіло, крайовий кут тупий: $\pi/2 < \theta < \pi$ (рис. 4.2, б).

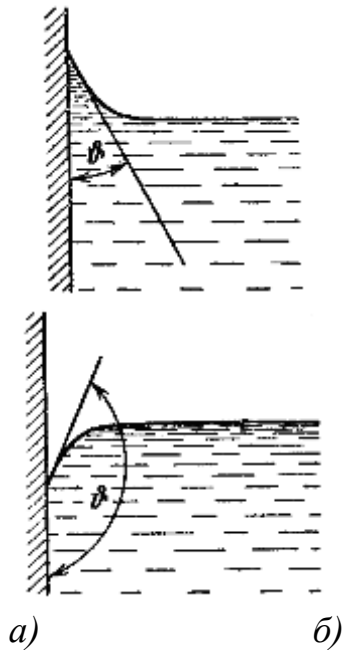


Рис. 4.2

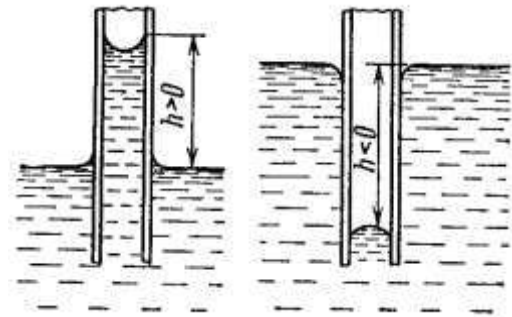


Рис. 4.3

Різниця крайових кутів у явищах змочування і незмочування пояснюється співвідношенням сил тяжіння між молекулами твердих тіл і рідин та сил міжмолекулярного тяжіння в рідинах. Якщо сили тяжіння між молекулами твердого тіла та рідини більші, ніж сили тяжіння молекул рідини одна до одної, то рідина буде змочувати тверде тіло. Якщо молекулярне тяжіння в рідині перевищує сили тяжіння молекул рідини до молекул твердого тіла, то рідина не змочує тверде тіло.

Вузькі циліндричні трубки з діаметром ~ 1 мм та менші називаються **капілярами**. Рівень ідеально змочувальної (незмочувальної) рідини в капілярі радіуса r вищий (нижчий), ніж у сполученій з ним широкій посудині, на висоту h , що дорівнює (рис. 4.3)

$$h = \frac{2\alpha \cos\theta}{\rho g r}, \quad (4.3)$$

де ρ – густина рідини, g – прискорення вільного падіння. Зміну висоти рівня рідини в капілярах називають **капілярними явищами**.

Метод та експериментальна установка

Установка складається з бюретки, яка визначає об'єм, у яку наливають рідину. Закінчується бюретка капіляром, що з'єднаний з бюреткою краном.

При утворенні краплі рідини, яка витікає з вузької вертикально розташованої трубки внутрішнього радіуса r , відрив краплі відбувається у той момент, коли її сила тяжіння mg перевищує силу поверхневого натягу $F_{\text{п}}$, що діє на периметр шийки краплі. Радіус шийки краплі прирівнюється до внутрішнього радіусу трубки. Тоді $mg = \alpha \cdot 2\pi r$, откуда

$$\alpha = \frac{mg}{2\pi r}. \quad (4.4)$$

Маса однієї краплі рідини визначається за об'ємом та густиною:

$$m = \rho V_0.$$

Об'єм краплі визначається в такий спосіб: у бюретці відмічають початковий і кінцевий рівень рідини, визначаючи в такий спосіб об'єм V рідини, що витікає. При цьому рахують число N крапель, які витікають, а потім визначають об'єм однієї краплі $V_0 = \frac{V}{N}$. Після підстановки маси m та об'єму V_0 у вираз

(4.4) одержуємо розрахункову формулу:

$$\alpha = \frac{\rho V g}{2\pi r N}. \quad (4.5)$$

Радіус шийки краплі r визначають за допомогою мікроскопа.

Порядок виконання роботи

13. Відрегулювавши кран таким чином, щоб краплі рідини витікали досить повільно, відмітити початковий рівень рідини в бюретці й почати відлік крапель. Коли рівень рідини понизиться настільки, що з бюретки витече певний об'єм рідини, значення об'єму V і число витеклих крапель N занести в таблицю 4.1. Повторити вимірювання для 3-5 різних об'ємів рідини.

Таблиця 4.1

№	$V, \text{ м}^3$	N	$r, \text{ м}$	$\rho, \text{ кг/м}^3$	$\alpha, \text{ Н/м}$	$\Delta\alpha, \text{ Н/м}$	$\frac{\Delta\alpha_{\text{ср}}}{\alpha_{\text{ср}}}$
1							
2							
3							
4							
5							
Середнє							

14. За допомогою відлікового мікроскопу, закріпленого на штативі в горизонтальному положенні, виміряти діаметр краплі і значення радіуса занести в таблицю 4.1.
15. Занести в таблицю густину досліджуваної рідини.
16. За формулою (4.5) розрахувати коефіцієнт поверхневого натягу для кожного дослідження. Результати обчислень занести в таблицю 4.1.
17. Зробити оцінку отриманого вимірювання. Для цього обчислити абсолютну й відносну похибки вимірювання й записати остаточний результат у вигляді

$$\alpha = \alpha_{\text{сер}} \pm \Delta\alpha_{\text{сер}}, \text{ Н/м}$$

Контрольні запитання

9. Як утворюється поверхневий натяг?
10. Що таке сила поверхневого натягу? Як вона напрямлена?
11. Що таке коефіцієнт поверхневого натягу? У яких одиницях він вимірюється?
12. Що собою являє меніск?
13. Що таке змочування й незмочування?
14. Що таке крайовий кут? Які його значення?
15. Як встановлюється рівень рідини в капілярних посудинах? Чому?
16. Пояснити методику виконання.

Розрахунки до лабораторної роботи №4



Лабораторна робота 5

ВИЗНАЧЕННЯ НАСИПНОЇ ЩІЛЬНОСТІ ВУГІЛЛЯ

Мета:	визначити насипну щільність вугілля.
Прилади та обладнання:	мірна ємність (приймальна посудина); конус, призначений для наповнення вугіллям мірної ємності (рис.5.1); вугілля; вирівнююча планка; пристрій для зважування, являє собою платформу для зважування до 100 кг вантажу з межею похибки 0,05 кг.

Теоретичні відомості

Вугілля, як сипуча маса, характеризується насипною щільністю. Цю величину визначають шляхом зважування одиниці об'єму вільно насипаного вугілля (без ущільнення).

Насипна щільність вугілля – величина відносна. Це виражається в тому, що результат визначення залежить від умов проведення випробування, від конструкції і розмірів апаратури, яким чином завантажують вугілля та ін.

При однакових умовах проведення випробування величина насипної щільності вугілля залежить від гранулометричного складу проби, вологості, дійсної і уявної щільності.

Залежно від цих чинників насипна щільність вугілля змінюється у відносно широких межах.

Стандартний метод визначення насипної щільності може бути розроблений тільки для вузького кола об'єктів випробування. Відповідно до цього стандарти поширюються на подрібнене вугілля або суміші вугілля (шихту), підготовлені для завантаження в коксові печі, що встановлює метод визначення насипної щільності в стандартній апаратурі.

Регламентовані конструкція і розміри конуса (бункера), приймальної посудини (мірної ємності) і висота скидання (або швидкість падіння) вугілля з конуса в посудину.

На вимогу стандарту одночасно з визначенням насипної щільності вугілля проводять ситовий аналіз і визначення загальної вологи.

Визначення насипної щільності вугільного завантаження необхідно для розрахунку роботи коксових печей. Відомо, що насипна щільність вугільного завантаження впливає на фізико-хімічні властивості коксу і на продуктивність коксових печей.

Сутність методу. Сутність методу полягає в тому, що пробу подрібненого вугілля або шихти завантажують в конус (бункер), розташований на певній висоті над прийомною посудиною, об'єм і масу якого попередньо визна-

чають. Після швидкого відкриття затвора конуса вугілля надходить в приймальну посудину (мірну ємність). Поверхню вугілля в посудині розрівнюють планкою і посудину з вугіллям зважують. Насипну щільність розраховують як відношення маси свіжонасипаного вугілля до його об'єму.

Прилади, реактиви та матеріали: мірна ємність (приймальна посудина); конус, призначений для наповнення вугіллям мірної ємності (рис.5.1); вугілля; вирівнююча планка; пристрій для зважування, являє собою платформу для зважування до 100 кг вантажу з межею похибки 0,05 кг.

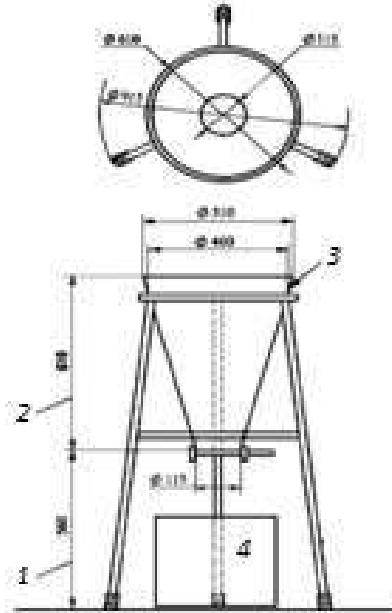


Рис. 5.1. Апарат для визначення насипної щільності вугілля за допомогою конуса: 1 – висота конуса; 2 – висота від залізної засувки до дна мірної ємності; 3 – мірна ємність; 4 – конус

Підготовка до випробування. Пробу подрібненого вугілля готують у відповідності до ДСТУ ISO 13909-4 або ГОСТ 10742. Під час приготування проби для визначення насипної щільності порції проби повинні зберігатися в герметично закритому контейнері для запобігання втрати вологи. Мінімальна маса проби для визначення насипної щільності становить 150 кг. Цієї кількості достатньо для проведення чотирьох випробувань і визначення загальної вологи. Пробу вугілля для визначення насипної щільності ретельно перемішують і ділять, без подрібнення, на чотири порції по 34 кг кожна. Цю операцію проводять по можливості швидко для запобігання втрат вологи, і насипну щільність вугілля визначають негайно. Якщо випробування не можна провести відразу, проби зберігають у герметичних водонепроникних контейнерах із щільно закритими кришками, причому проби до випробування повинні мінімально стикатися з повітрям.

Порядок виконання роботи

1. Конус, вставлений в каркас-триногу, поміщають на горизонтальну поверхню (на металеву пластину або на підлогу).

2. Підготовлену пробу розміщують на рівній поверхні і обережно розрівнюють лопатою або совком так, щоб товщина шару вугілля була близько 100 мм. Слід уникати натискання на вугілля тильною стороною лопати або совка.
3. Потім послідовно набирають повні лопати або совки вугілля з рівномірно розподілених точок на поверхні вугілля і обережно зсипають в конус, підходячи до нього з різних сторін. Це запобіжить сегрегації (примусовому розділенню) та ущільненню вугілля під час заповнення конуса. Завантажують в конус близько 34 кг вугілля. Центр попередньо зваженої мірної ємності мають у своєму розпорядженні під клапаном конуса.
4. Потім повністю відкривають засувку клапана, все вугілля висипається в ємність і пересипається через край. Якщо зволожене вугілля не висипається вільно з бункера, обережно проштовхують зверху вниз крізь вугілля вирівнюючу планку.
5. Після заповнення мірної ємності обережно видаляють надлишки вугілля з одночасним вирівнюванням його поверхні рухом планки в горизонтальній площині з її опорою на краю мірної ємності. При цьому стежать за тим, щоб всі кути мірної ємності були заповнені вугіллям. Слід уникати струсу або пересування наповненої ємності до тих пір, поки не буде видалене все зайве вугілля.
6. Мірну ємність поміщають на платформу для зважування і зважують з межею похибки 0,05 кг. Різниця маси наповненої і порожньої ємності являє собою масу неущільненого вугілля.
7. Вимірювання, вказані в пунктах 3 та 4, повторити ще для двох значень І. Результати вимірювань занести до таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

№ п/п	m_1	$\gamma_{\text{нщ}}$	$\gamma_{\text{нщ.сер}}$	$\Delta\gamma_{\text{нщ}}$	$\frac{\Delta\gamma_{\text{нщ}}}{\gamma_{\text{нщ}}}$
1					
2					
3					
середнє					

Обробка результатів. Визначення насипної щільності (з поправкою), в розрахунку на сухий стан вугілля, розраховують за формулою:

$$\gamma_{\text{нщ}} = \frac{m_1 - m_0}{V} \cdot \frac{100 - W_t^r}{100}, \quad (5.1)$$

де m_0 – маса чистої сухої мірної ємності, кг;
 m_1 – маса наповненою мірної ємності, кг;
 V – об'єм чистої сухої мірної ємності, м³

W_t^r – загальна волога вугілля, %.

Визначення насипної щільності (з поправкою), в розрахунку на робочий стан вугілля, розраховують за формулою:

$$\gamma_{\text{нас}} = \frac{m_1 - m_0}{V} \quad (5.2)$$

Кожен результат визначення насипної щільності, виражений в кг /м³ розраховують з точністю до другого знаку.

Результат визначення насипної щільності, внесений до протоколу випробувань, являє собою середнє арифметичне результатів двох паралельних визначень, розрахованих з точністю до цілого числа.

Контрольні запитання і завдання

1. З якою метою і як визначають насипну щільність вугілля?
2. Від чого залежить величина насипної щільності вугілля?
3. Як розраховують насипну щільність вугілля?
4. Як готують пробу подрібненого вугілля?
5. Поясніть чому насипна щільність вугілля – величина відносна?
6. Для чого необхідно визначення насипної щільності вугільного завантаження?
7. На що впливає насипна щільність вугільного завантаження?
8. Визначите в чому полягає сутність методу визначення насипної щільності вугілля?
9. Що таке сегрегація вугілля?

Розрахунки до лабораторної роботи №5



ЧЕРНЕТКА



ЧЕРНЕТКА

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6

ВИВЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ФЕРОМАГНЕТИКІВ

ПРИЛАДИ Й МАТЕРІАЛИ: котушка з феромагнітним сердечником (трансформатор), міліамперметр (50 мА), вольтметр (150-200 В), повзунковий реостат (2000-10000 Ом), сполучні проведення.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Мета роботи вивчити властивості феромагнетиків та вирішити наступні питання:

1. Намагнічення речовини, величини, що характеризують магнетики.
2. Феромагнетики, їх природа та властивості.

Всі речовини в природі за своїми магнітними властивостями підрозділяються на три види:

- діамагнетики;
- парамагнетики;
- феромагнетики.

Магнітну активність проявляють всі речовини без винятку, тому можна припустити, що магнітні властивості речовини визначаються елементарними частками, що входять до складу кожного атома (електронами, протонами, нейтронами). Дослідження показали, що магнітні моменти нейтронів і протонів на три порядки нижче найменшого магнітного поля електрона, тому можна вважати, що магнітні властивості атома визначаються його електронами.

Усякий атом являє собою динамічну систему, що складається з ядра й електронної хмари. Кожний електрон має певний спіновий момент $P_{сп}$, крім того, рух електрона по деякій замкнутій орбіті усередині атома створює так званий орбітальний магнітний момент $P_{ор}$. Отже, повний магнітний момент атома $P_{ат}$ буде являти собою векторну суму орбітальних і спінових магнітних моментів електронів, що належать даному атому:

$$\vec{P}_{ат} = \sum_{i=1}^z \vec{P}_{ор,i} + \sum_{i=1}^z \vec{P}_{сп,i}$$

де z - число електронів в атомі.

Розглянемо процеси в атомах, молекулах і кристалах, які визначають приналежність даної речовини до одного з перерахованих видів магнетиків.

Діамагнітний ефект обумовлений дією зовнішнього магнітного поля на орбітальний рух електронів, тобто він властивий всім атомам і молекулам.

Таким чином, діамагнітні властивості обов'язково будуть проявлятися в тих речовинах, у яких сумарний магнітний момент атома або молекули дорівнює нулю. Для здійснення цієї вимоги потрібно, щоб всі орбітальні й спінові

магнітні моменти були скомпенсовані. До діамагнетиків належать, наприклад, інертні гази, Cu, Ag, Sb, Bi, Pb, Zn, C, Hg, Si, Ge, Sn і ін.

Речовини, які здатні добре намагнічуватися, називаються *феромагнетиками* (від лат. ferrum – залізо). Їх намагніченість велика і в число раз перевищує намагніченість діа і парамагнетиків, які належать до категорії слабомагнітних речовин. Феромагнетики - це сильномагнітні речовини, які створюють сильне магнітне поле, напрямлене в бік зовнішнього.

Феромагнітні матеріали умовно поділяють на два типи:

- жорсткомагнітні матеріали - це матеріали, які після припинення дії зовнішнього магнітного поля залишаються намагніченими довгий час.

Їх застосовують для виготовлення постійних магнітів.

- м'якомагнітні матеріали - це матеріали, які легко намагнічуються і швидко розмагнічуються. Застосовують їх для виготовлення осердь електромагнітів, двигунів, трансформаторів, тобто пристроїв, які під час роботи постійно перемагнічуються.

Температура Кюрі - це температура, за якої феромагнетик втрачає намагніченість.

Магнітна проникність більшості феромагнетиків за звичайних температур вимірюється багатьма сотнями і тисячами одиниць, а в деяких спеціально приготовлених і оброблених феромагнетиків вона досягає мільйона.

Основні властивості феромагнетиків такі:

1. Магнітна проникність феромагнетиків складним образом залежить від напруженості зовнішнього магнітного поля.

2. Феромагнетики мають залишковий магнетизм, тобто вони можуть зберігати стан намагніченості при відсутності поля, що намагнічує. Залишковий магнетизм є результатом магнітного гістерезису, що спостерігається при перемагнічуванні феромагнетика й проявляється в тому, що зміна намагніченості феромагнетика в змінному полі відстає від зміни напруженості поля, що намагнічує.

Феромагнетики є сильномагнітними речовинами – їх намагнічування у величезне число разів (до 10^{10}) перевершує намагнічування парамагнетиків, крім того, намагнічування феромагнетиків не зникає після вимикання магнітного поля. До числа таких речовин належать елементи VIII групи періодичної системи елементів Д.І.Менделєєва (Fe, Ni, Co) й деякі рідкоземельні елементи (Gd, Ho, Er) і їхні сплави. Феромагнетизм властивий всім цим речовинам тільки в кристалічному стані й у певному інтервалі температур. При нагріванні їх вище деякої температури, що носить назву температури Кюрі, феромагнетизм зникає, і речовина стає парамагнетиком. Важливою характеристикою феромагнетиків є залежність магнітної проникності від величини напруженості зовнішнього магнітного поля $\mu(H)$. Тому що це складна функція, то з її допомогою можна вибрати оптимальні умови, при яких дана речовина може використовуватися з найбільшою користю. Залежність $\mu(H)$ для феромагнетиків звичайно визначають тільки для основної кривої намагнічування.

Магнітна індукція магнітного поля у феромагнетика залежить від напруженості поля, що намагнічує (H) і ступеня намагніченості феромагнетика (j) за законом:

$$B = \mu_0(H + j) \quad (1.1)$$

На початку, ще коли намагнічує поле (H) незначно, магнітна індукція зростає швидко, тому що з ростом (H) зростає й намагніченість осердя (j).

Починаючи з деякого значення поля, що намагнічує $H = H_m$, настає момент насичення або повної намагніченості осердя. З цього моменту намагніченість (j) залишається постійною, і магнітна індукція зростає лише за рахунок зростання напруженості поля, що намагнічує. Починаючи з цього моменту, залежність від (H) стає лінійною (рис. 1.1).

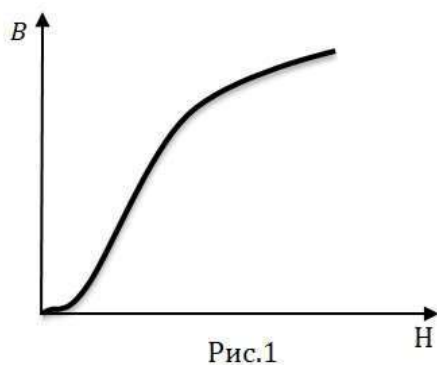


Рис.1

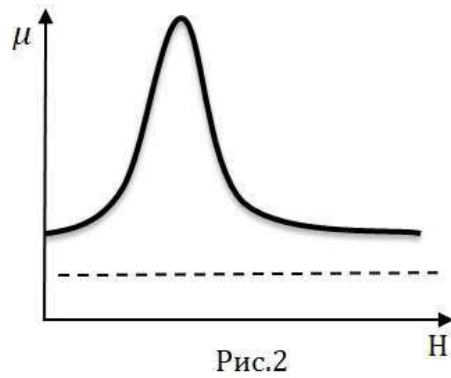


Рис.2

У роботі дослідним шляхом встановлюється залежність між магнітною індукцією поля у феромагнетика, яким є залізо трансформатора, і напруженістю поля, що намагнічує (H). Намагнічуюче поле створюється соленоїдом-котушкою трансформаторів. Його напруженість знаходимо за формулою:

$$H = \frac{I \cdot N}{l} = I \cdot n \quad (1.2)$$

де N - число витків які проходяться на одиницю довжини соленоїда;

l - довжина котушки трансформатора;

$n = \frac{N}{l}$ - число витків на одиницю довжини.

Магнітну індукцію B знаходимо з такого співвідношення:

$$B = \mu \mu_0 H \quad (1.3)$$

де μ_0 – магнітна постійна, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\Gamma \cdot \text{м}}{\text{м}}$;

μ - магнітна проникність середовища осердя (для вакууму $\mu = 1$).

Істотною особливістю феромагнетиків є залежність від напруженості поля, що намагнічує (H). Характер цієї залежності показаний на рисунку 1.2. Тому що (μ) є величина змінна, то її необхідно обчислити для кожного значення напруженості (H) (сила струму). Значення сили струму (I) та напруги (U) вимірюються по приладах (амперметру та вольтметру).

Для обчислення розглянемо повний опір котушки змінного струму. Воно дорівнює:

$$Z = \sqrt{R_0^2 + W^2 L^2} \quad (1.4)$$

де L - індуктивність котушки;

W – циклічна частота змінного струму, $314 \text{ сек}^{-1} \cdot \text{рад}$ (частота змінного струму $\nu = 50 \text{ сек}^{-1}$);

R_0 – омичний опір котушки, який обчислюється за формулою:

$$R_0 = \rho \frac{l}{S}$$

WL - індуктивний опір котушки.

У зв'язку з тим, що омичний опір $R_0 = 10\text{-}20 \text{ Ом}$, має менше значення в порівнянні з індуктивним ($WL = 2000\text{-}3000 \text{ Ом}$), можна вважати, що повний опір котушки дорівнює:

$$Z = WL$$

Соленоїд являє собою котушку, яка намотана на прямолінійний сердечник. Магнітне поле соленоїда залежить від числа ампер-витків, а також від довжини і діаметра соленоїда. Ампер-витки (АВ) – це міра магніторушійної сили котушки або соленоїда, яка визначається добутком величини струму, що протікає через котушку, в амперах (A), на число витків котушки (N).

Індуктивність (L) котушки дорівнює наступному виразу:

$$L = \frac{\mu \mu_0 N^2 S}{l} \quad (1.5)$$

де N - кількість витків соленоїда котушки трансформатора, $N = 1200$;

S - площа витків соленоїда, $S = 78 \cdot 10^{-4}$;

l - довжина соленоїда, $l = 0,09 \text{ м}$.

Звідси
$$\mu = \frac{L \cdot l}{\mu_0 N^2 S} \quad (1.6)$$

Беручи до уваги те, що $L = \frac{Z}{W}$, з (1.6) маємо:

$$\mu = \frac{Z \cdot l}{W \mu_0 N^2 S} \quad (1.7)$$

Повний опір котушки змінного струму можна знайти за законом Ома для змінного струму:

$$I_{\text{эф}} = \frac{U}{Z}, \quad \text{звідки} \quad Z = \frac{U}{I}$$

Порядок виконання роботи

1. Зібрати електричну схему (рис. 1.3).

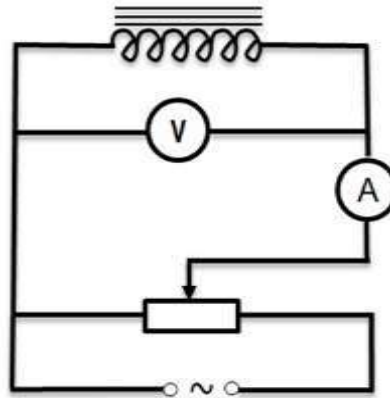


Рис. 1.3

2. Після перевірки схеми керівником заняття на потенціометрі встановити найменшу напругу.
3. Потенціометром вимірювати напругу на котушці. Напруги й відповідні їм значення струму через кожні 5 mA занести в таблицю 1.
4. По формулі (1.2) обчислити напруженість магнітного поля й результати занести у звітну таблицю.
5. По формулі (1.7) обчислити відносну магнітну проникність сердечника й результати занести в таблицю.
6. По формулі (1.3) обчислити магнітну індукцію й результати занести в таблицю.
7. Для обчислення характеру залежності B , μ від H побудувати графіки:

$$\mu = f_1(H); \quad B = f_2(H)$$

Таблиця 1.1

μ_0	W	N	l	S	I	U	Z	H	μ	B
$4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$	314 c^{-1}	1200	0,09 м	$78 \cdot 10^{-4}$						

Контрольні питання

1. Яка мета роботи?
2. Які речовини можна віднести до феромагнетиків?
3. Які властивості феромагнетиків?
4. Який вид має графік залежності магнітної проникності від величини напруженості поля, що намагнічує?
5. Що таке магніторухійна сила?

6. Що таке ампер-витки?
7. Як розрахувати ампер-витки?
8. Яке значення ампер-витків потрібно для певного магнітного поля?
9. Як ампер-витки використовуються в електричних машинах?
10. Як ампер-витки використовуються в трансформаторах?
11. Який вид має графік залежності магнітної індукції від напруженості поля, що намагнічує?
12. Який фізичний зміст магнітної проникності феромагнетика?
13. Як у роботі обчислювалася магнітна індукція B ?
14. По якій формулі обчислюється напруженість поля, що намагнічує?
15. По якій формулі визначається магнітна проникність?
16. Чому дорівнює повний опір котушки змінного струму?
17. Чому у формулі визначення індуктивності котушки не ввійшов омічний опір?
18. Як у роботі визначався повний опір котушки змінного струму?

РОЗРАХУНКИ до лабораторної роботи №6

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7

ВИВЧЕННЯ ТЕПЛООВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

ПРИЛАДИ Й МАТЕРІАЛИ: оптичний пірометр зі зникаючою ниткою, джерело постійного струму (по 4 В), ЛАТР, амперметр (75 А), вольтметр (200 В), досліджувана лампа, джерело змінного струму (220 В).

МЕТА РОБОТИ: вивчення законів теплового випромінювання та експериментальне визначення сталої Стефана-Больцмана за допомогою оптичного пірометра

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Потік світлової енергії, який падає на поверхню непрозорого тіла, частково відбивається, а частково поглинається тілом. Поглинута тілом енергія перетворюється в інші види енергії, частіше всього в теплову. Тому тіла, які поглинають випромінювання, нагріваються. Тіло, нагріте до температури, яка перевищує температуру оточуючого середовища, віддає теплоту у вигляді випромінювання електромагнітних хвиль різної довжини. Таке випромінювання називається **теповим, або температурним**. Будь-яке випромінювання (в тому числі і теплове) супроводжується втратою енергії і проходить або за рахунок внутрішньої енергії, або за рахунок енергії, отриманої ззовні. Теплове випромінювання є рівноважним.

Теплове випромінювання тіл характеризується такими основними величинами:

Інтегральною інтенсивністю випромінювання (енергетична світність), яка являє собою повну енергію R , що випромінюється за одиницю часу одиницею поверхні у всьому інтервалі довжин хвиль:

$$R = \frac{E_{\text{випр.}}}{S} \quad (1.1)$$

Монохроматичною (диференціальною) інтенсивністю випромінювання, яка являє собою енергію $dE_{\text{випр.}}$, що випромінюється одиницею поверхні тіла в одиничному інтервалі довжин хвиль:

$$r_{\lambda} = \frac{d \cdot E_{\text{випр.}}}{d\lambda} \quad (1.2)$$

Часто цю величину називають **випромінювальною здатністю тіла**. Із сказаного випливає, що

$$R = \int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} r_{\lambda} d\lambda \quad (1.3)$$

Якщо частина падаючої на тіло енергії $E_{\lambda\text{пад}}$ випромінювання в інтервалі довжин хвиль $(\lambda, \lambda + d\lambda)$ поглинається тілом $E_{\lambda\text{погл}}$, а частина енергії відбивається $E_{\lambda\text{відб}}$, то на основі закону збереження енергії має місце співвідношення:

$$E_{\lambda\text{под.}} = E_{\lambda\text{погл.}} + E_{\lambda\text{відб.}}, \quad (1.4)$$

або

$$\frac{E_{\lambda\text{погл.}}}{E_{\lambda\text{под.}}} + \frac{E_{\lambda\text{відб.}}}{E_{\lambda\text{под.}}} = 1. \quad (1.5)$$

Величину

$$\frac{E_{\lambda\text{погл.}}}{E_{\lambda\text{под.}}} = \alpha(\lambda, T) \quad (1.6)$$

називають **поглинальною здатністю тіла**. Поглинальна здатність тіла є безрозмірна величина, яка показує, яку долю падаючого випромінювання в інтервалі довжин хвиль $(\lambda, \lambda + d\lambda)$ тіло поглинає.

$$\frac{E_{\lambda\text{відб.}}}{E_{\lambda\text{под.}}} = \kappa(\lambda, T) \quad (1.7)$$

називають **відбивальною здатністю тіла**. Відбивальна здатність тіла є також безрозмірною величиною і вона показує, яку долю падаючого випромінювання в інтервалі довжин хвиль $(\lambda, \lambda + d\lambda)$ тіло відбиває. Тіло, яке поглинає всю падаючу на нього енергію, називається **абсолютно чорним**. Для абсолютно чорних тіл $E_{\lambda\text{відб.}} = 0$, $\alpha(\lambda, T) = 1$.

Припустимо, що в теплообміні приймають участь тіла, які утворюють замкнуту систему, в якій теплообмін із зовнішнім середовищем відсутній. Тоді через деякий час ці тіла прийдуть в стан рівноваги, тобто набудуть однакової температури. Але це не означає, що випромінювання всередині системи припиниться. Якщо стан рівноваги досягнуто, то в будь-який момент часу для кожної довжини хвилі випромінювана енергія рівна поглинутій. Виходячи із другого принципу термодинаміки Кірхгоф показав, що умова теплової рівноваги полягає у наступному: **відношення монохроматичної інтенсивності випромінювання (випромінювальної здатності) до поглинальної здатності є величина стала для всіх тіл при даній температурі і для даної довжини хвилі (закон Кірхгофа):**

$$\frac{r(\lambda, T)}{\alpha(\lambda, T)} = \varphi(\lambda, T) \quad (1.8)$$

Отже, тіло, яке поглинає ті чи інші хвилі, буде їх же випромінювати, і навпаки. Величина $\varphi(\lambda, T)$ не залежить від природи тіла і є функцією лише довжини хвилі і температури. Оскільки для абсолютно чорного тіла $\alpha(\lambda, T) = 1$, то

$$r(\lambda, T) = \varphi(\lambda, T). \quad (1.9)$$

Таким чином, величина $\varphi(\lambda, T)$ є не що інше, як монохроматична спектральна випромінювальна здатність абсолютно чорного тіла. Для інших тіл (сірих) $\alpha(\lambda, T) < 1$, тому

$$r(\lambda, T) = \alpha(\lambda, T)\varphi(\lambda, T) \quad (1.10)$$

Запропонувавши гіпотезу про квантову природу випромінювання, Планк методами статистичної фізики показав, що для абсолютно чорного тіла

$$r(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{kT\lambda}} - 1}, \quad (1.11)$$

де $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – стала Планка, k – стала Больцмана, c – швидкість світла.

Використовуючи формулу Планка (2.11) можна знайти інтегральну інтенсивність випромінювання абсолютно чорного тіла:

$$R(T) = \int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{d\lambda}{e^{\frac{hc}{k\lambda T}} - 1} = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} T^4 \quad (1.12)$$

або

$$R(T) = \sigma T^4, \quad (1.13)$$

де $\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^4$ – стала величина, яка називається **сталою**

Стефана -Больцмана

Отже, повна енергія, яка випромінюється абсолютно чорним тілом за одну секунду пропорційна четвертому степеню його абсолютної температури (закон Стефана-Больцмана). Стала Стефана-Больцмана σ була визначена дослідним шляхом. Користуючись відомим значенням σ , Планк вперше визначив сталу h (сталу Планка).

Із закону Стефана-Больцмана випливає, що кількість теплоти, яка передається одиницею поверхні абсолютно чорного тіла, що знаходиться при температурі T_1 , в оточуюче середовище з температурою T_2 , якщо середовище розглядати як абсолютно чорне тіло, рівна:

$$R = R_1 - R_2 = \sigma(T_1^4 - T_2^4) \quad (1.14)$$

Випромінювання всіх інших тіл (не чорних) підпорядковується такій же закономірності; їх випромінювання для кожної довжини хвилі в α (λ, T) разів менше, ніж для абсолютно чорного тіла. Тому повне випромінювання не чорних (сірих) тіл можливо визначити за формулою:

$$R = A\sigma T^4 \quad (1.15)$$

де A_m – константа речовини (коефіцієнт сірості тіла, $A_m = 0,45$).

Користуючись формулою Планка можна знайти розподіл інтенсивності випромінювання за довжинами хвиль. Максимум інтенсивності випромінювання визначається із умови:

$$\frac{d\varphi(\lambda, T)}{d\lambda} = 0,$$

що призводить до виразів:

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}, \quad (1.16)$$

$$r_{\lambda_{\max}} = aT^5, \quad (1.17)$$

де a і b – константи. Формули (2.16) і (2.17) називаються **законами Віна**. Із (2.16) видно, що довжина хвилі, на яку припадає максимум інтенсивності випромінювання, обернено пропорційна температурі. Максимум випромінювання із збільшенням температури зміщується в бік коротких хвиль (**закон зміщення Віна**). Максимальна інтенсивність випромінювання пропорційна п'ятому степеню абсолютної температури (2.17).

Якщо поглинання випромінювання відбувається не повністю, то тіло називають **сірим**. Для абсолютно чорних тіл: $a_{\text{чт}} \equiv 1$, а для сірих - $a_{\text{сір}} < 1$. Реальні тіла не є чорними, і для кожного з них в формулу Стефана - Больцмана доводиться вводити множник, менший одиниці (поглинальну здатність даного тіла). Ці множники визначаються емпірично.

Випромінюваність тіл спектральна й інтегральна залежить від температури тіла й тому може бути використана для виміру температури тіл. Сукупність методів виміру високих температур, заснованих на використанні залежності випромінювальної здатності досліджуваного тіла або його енергетичної світності від температури, називається *оптичною пірометрією*. Прилади, застосовувані для цієї мети, називаються *пірометрами випромінювання*.

Опис установки

В якості випромінюючого тіла в роботі використовується розжарена ніхромової спіраль. Яскравісна температура ніхромової спіралі вимірюється за допомогою оптичного пірометра із зникаючою ниткою. Принцип визначення температури заснований на *візуальному порівнянні яскравості розжареної нитки лампи пірометра з яскравістю розжареної спіралі випромінюючого тіла*. Тут використовується закон: якщо однакові яскравості випромінювання, то однакові і температури. Нитка розжарення лампи пірометра підключена до акумулятора (рис. 1.1). Струм розжарення регулюється реостатом, вмонтованим в стійку пірометра. Зміна опору реостата в процесі вимірювання здійснюється обертанням рифленого кільця, розташованого перед шкалою пірометра.

Пірометр має дві шкали: від 800 до 1400 °С і від 1200 до 2000 °С.

За допомогою об'єктива отримують зображення розжареної спіралі. У площині зображення розміщена нитка лампочки пірометра. Спостерігаючи через окуляр, підбирають за допомогою реостата таке розжарення нитки лампочки, щоб її яскравість збігалася з яскравістю зображення спіралі (в цьому випадку нитка «зникає», тобто становиться нерозрізною на тлі зображення). Оскільки досліджуване джерело тепла теж є розжареною ниткою, то спостерігають за місцем їх перетину. При недостатньому розжаренні лампи в приладі місце їх перетину буде темним, при надмірному - світлим. Показання за шка-

лою температур знімають, коли яскравості обох джерел є однаковими. Температури нитки і розжареної спіралі будуть рівними і можуть бути визначені за показаннями приладу. Нагрівання ніхромової спіралі здійснюють струмом, падіння напруги на спіралі U і силу струму в ній I фіксують вольтметром і амперметром. Це дозволяє визначити потужність, що виділяється в спіралі за рахунок проходження струму.

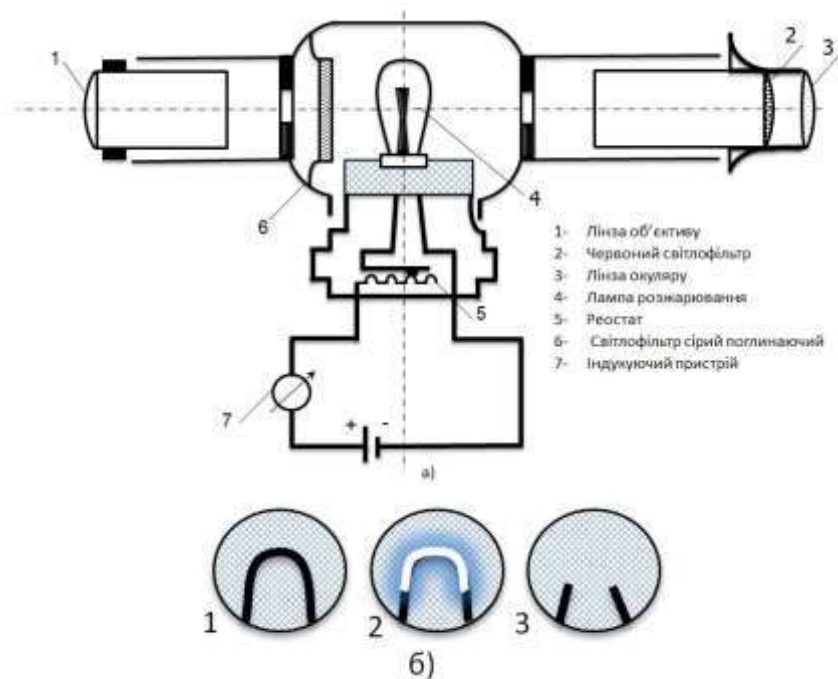


Рис. 1.1. Схема оптичного пірометра (а) із зникаючою ниткою (б)

У даній роботі для визначення сталої Стефана-Больцмана використовують *метод прирівнювання потужності електричного струму*, яка витрачається на розігрів ніхромової спіралі, і *потужності випромінювання з її поверхні*. Згідно із законом Джоуля-Ленца теплова **потужність струму**, що йде на розігрів спіралі, дорівнює IU .

Для знаходження постійної Стефана-Больцмана ми скористаємося законом Стефана-Больцмана, що для сірого тіла запишеться так:

$$R_T^C = A_m \sigma T^4 \quad (1.18)$$

з деяким ступенем точності досліджуване тіло: вольфрамову нитку досліджуваної лампи накаливання можна порахувати сірим тілом, причому $A_T = 0,45$

$$\sigma = \frac{R_m^C}{A_m T^4} \quad (1.19)$$

Значення температури T вимірюємо пірометром, величину енергетичної світності визначаємо, виходячи з визначення

$$R_T^C = \frac{P}{S} \quad (1.20)$$

де S - площа випромінюючої поверхні;

P - випромінювана потужність.

У випадку постійної температури нитки лампи накаливання можна вважати, що споживана нею потужність мережі $P = IU$ повністю споживана тепловим випромінюванням, тоді запишеться вираз для розрахунку сталої Стефана-Больцмана:

$$\sigma = \frac{IU}{A_T S T^4} \quad (1.21)$$

Порядок виконання роботи

Схема лабораторної установки для дослідження енергетичної світності сірого тіла зображена на рис. 1.2.

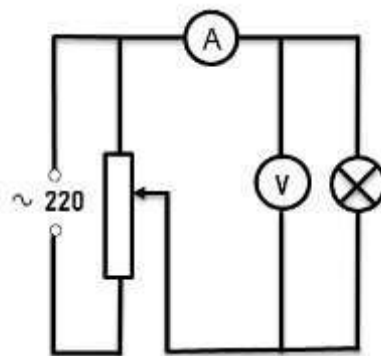


Рис. 1.2. Схема лабораторної установки для дослідження енергетичної світності сірого тіла

1. Встановити поворотне кільце реостата пірометра в нульове положення.
2. Включити установку і, поступово збільшуючи регулятором напругу, довести температуру спіралі приблизно до 700 -800 ° С (темно-червоний колір).
3. Навести об'єктив пірометра на розжарену спіраль і домогтися різкого її зображення.
4. Поєднати зображення нитки лампи пірометра із зображенням розжареної спіралі. Обертанням поворотного кільця реостата за годинниковою стрілкою довести розжарення нитки пірометра до такої ж яскравості, як і яскравість спіралі. Записати показання температури за шкалою пірометра і значення струму і напруги на установці зі спіраллю.
5. Під керівництвом викладача збільшити кілька разів (3 - 4 рази) струм розігріву спіралі на 0,5 А, записуючи кожен раз значення температури. При вимірюванні температури понад 1400 ° С поворотом головки на тубусі пірометра ввести світлофільтр. При цьому видима яскравість спіралі буде меншою. Відповідно пірометр має іншу (нижню шкалу) для високих температур. Показання знімати за нижньою шкалою.
6. Після закінчення вимірювань температури вивести регулятор напруги і реостат пірометра на мінімум напруги, і вимкнути установку.
7. За формулою (2.21) обчислити сталу Стефана - Больцмана.
8. Величина $\Delta\sigma$ обчислюється за стандартною процедурою статистичної обробки даних експерименту. Остаточний результат представити у вигляді:

$$\Delta\sigma = |\sigma_{\text{ср}}| - \sigma_i; \sigma = (\sigma_{\text{ср}} \pm \Delta\sigma_{\text{ср}}); \frac{Вт}{м^2К^4}$$

Таблиця 1

№ п/п	I, А	V, В	S, м ²	t, °С	t _{іст.} , °С	T, К	σ	$\Delta\sigma$	$\frac{\Delta\sigma_{\text{ср}}}{\sigma_{\text{ср}}}$
1			5·10 ⁻⁴						
2			5·10 ⁻⁴						
3			5·10 ⁻⁴						
4			5·10 ⁻⁴						
5			5·10 ⁻⁴						
Середнє значення							$\sigma_{\text{ср}} =$	$\Delta\sigma_{\text{ср}} =$	

9. Розрахувати відносну й абсолютну похибки.
10. Зробити висновки з роботи.
11. Оформити звіт.

Контрольні питання

1. Яка мета роботи?
2. Що таке температурне випромінювання, теплове випромінювання?

3. Назвати всі характеристики теплового випромінювання й дати визначення.
4. Якими величинами характеризуються поглинання енергії тілом? Назвати й дати визначення.
5. Яке тіло називається абсолютно чорним? Сірим?
6. Яким вважається тіло, досліджуване в роботі?
7. Як формулюється й записується закон Кірхгофа?
8. Виходячи з якого закону в роботі визначається стала Стефана-Больцмана? Назвати й сформулювати.
9. Як у роботі визначалася температура досліджуваного тіла?
10. Що таке оптична пірометрія?
11. Як у роботі визначалася енергетична світність досліджуваного тіла?
12. Чому теплове випромінювання є рівноважним?
13. Що називають енергетичною світністю тіла? Як визначається енергетична світність тіла?
14. Що називають випромінювальною і поглинальною здатністю тіла? Від яких параметрів вони залежать?
15. З'ясуйте фізичний зміст сталої Стефана-Больцмана.
16. Запишіть закон зміщення Віна і поясніть його суть.
17. З'ясуйте фізичну суть сталої Планка.
18. Які оптичні прилади називають пірометрами і де вони використовуються? З'ясуйте їх будову і принцип дії.

РОЗРАХУНКИ до лабораторної роботи №7

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №8

ВИМІРЮВАННЯ ДОВЖИНИ ХВИЛЬ У СПЕКТРІ ВОДНЮ ЗА ДОПОМОГОЮ СПЕКТРОСКОПА ТА ВИЗНАЧЕННЯ СТАЛОЇ РІДБЕРГА І СТАЛОЇ ПЛАНКА

ПРИЛАДИ Й МАТЕРІАЛИ:	двохтрубний спектроскоп (монохроматор УМ-2); прилад СПЕКТР-1 (воднева газорозрядна трубка); неонова лампа, джерело постійного струму
МЕТА РОБОТИ:	вивчення числового значення спектра водню і визначення сталої Рідберга та сталої Планка

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

На основі експериментальних результатів розсіювання α -частинок на металічній фользі Резерфордом була запропонована ядерна модель атома. Згідно з цією моделлю в ядрі атома зосереджений увесь його позитивний заряд і майже вся маса атома. Навколо ядра в області з розмірами 10^{-10} м рухаються електрони. Проте застосування класичної електродинаміки до ядерної моделі атома привело до повної суперечності з дослідними фактами.

Згідно з класичною теорією повинні мати місце:

- а) неперервна втрата енергії електронами, що обертаються, у вигляді випромінювання електромагнітних хвиль і нестійкість атома;
- б) існування тільки суцільного спектру випромінювання; відсутність спектральних ліній.

Насправді атом є стійкою системою і випромінює енергію тільки за певних умов; випромінює лінійчастий спектр; згідно з законом Кірхгофа спектри поглинання газу також мають лінійчасту структуру. Досліджуючи спектр водню, швейцарський вчитель фізики Бальмер у 1885 р. встановив, що довжини хвиль відомих на той час дев'яти ліній спектра водню. У 1908 р. Рітц встановив, що частоти спектральних ліній випромінювання будь-якого атома можуть бути зображені у вигляді різниці двох термів. Складаючи різні комбінації термів, можна знайти різні можливі частоти спектральних ліній цього атома. Так, для водню були розраховані, а також експериментально виявлені:

- а) у далекій ультрафіолетовій області спектру серія ліній, що дістала назву серії Лаймана, хвильові числа яких задовольняють співвідношенню

Усі серіальні формули спектру водню можуть бути виражені єдиною формулою:

$$\nu = R \cdot \left(\frac{1}{r^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (1.1)$$

$k+1, k+2, \dots$).

Перша спроба побудувати некласичну теорію атома була зроблена Бо-

ром у 1913 р. і відіграла важливу роль у розвитку сучасної фізики. В основі цієї теорії лежала ідея зв'язати в єдине ціле: емпіричні закономірності лінійчастих спектрів, ядерну модель атома Резерфорда й квантовий характер випромінювання і поглинання світла, що підтверджувались численними експериментальними результатами. Теорія Н.Бора ґрунтується на трьох постулатах:

Перший постулат Бора або постулат стаціонарних станів: існують деякі стаціонарні стани атома, перебуваючи в яких він не поглинає і не випромінює енергії.

Другий постулат Бора або правило квантових орбіт: в стаціонарному стані атома електрон, рухаючись по круговій орбіті, повинен мати квантоване значення моменту імпульсу, що задовільняє умови:

$$L = mVr = n \frac{h}{2\pi} \quad (n = 1, 2, 3) \quad (1.2)$$

де m , V , r - маса, швидкість і радіус орбіти електрона;
 h - стала Планка, $n = 1, 2, 3, \dots$

Третій постулат Бора: при переході атома з одного стаціонарного стану в інший випромінюється або поглинається квант енергії. Випромінювання відбувається при переході в стан з меншою енергією (при переході електрона з орбіти більш віддаленої від ядра на орбіту, що знаходиться ближче до ядра.) Поглинання енергії зв'язане з переходом атома в стан з більшою енергією (переходом електрона на більш віддалену орбіту).

Якщо E_n і E_m - енергії атома в двох стаціонарних станах, то

$$h\nu = E_n - E_m \quad \nu = \frac{c}{\lambda} \quad (1.3)$$

де ν - частота випромінюваної хвилі;
 h - стала Планка.

При $E_n > E_m$ відбувається випромінювання кванта енергії, при $E_n < E_m$ - поглинання кванта.

Зрівнявши між собою формули (1) і (3), можна визначити, що енергія атома E_n атома водню в деяких стаціонарних станах має вигляд:

$$E_n = \frac{Rch}{n^2} \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (1.4)$$

Таким чином, цілі числа, які входять у формулу для знаходження частот, визначають дискретні, квантовані значення енергії атома водню у відповідних станах.

У квантовій механіці вважають n номером дозволеного енергетичного рівня для електрона. Його називають *головним квантовим числом*. Головне квантове число дозволяє обчислити енергію стаціонарного стану.

Згідно з теорією Бора енергетичний стан, що відповідає головному квантовому числу $n=1$, називається основним (нормальним або незбудженим) станом. Усі стани з $n > 1$ збуджені. Перехід атомів газу з основного стану в збуджений легко здійснити за допомогою електричного розряду в розрідженому

газі. Перехід атомів із збудженого стану в основний проходить спонтанно з випромінюванням ліній усіх серій.

Постулати, висунуті Бором, дозволили йому теоретично розрахувати спектр водню. Бор уважав, що електрон в атомі водню рухається по круговій орбіті радіуса r . На такій траєкторії його втримує кулонівська сила притягання електрона до ядра, що грає роль доцентрової сили.

$$\frac{mV^2}{r} = \frac{\bar{e}e}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (1.5)$$

де \bar{e} – заряд електрона $1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл;

ϵ_0 – електрична постійна $8,82 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

Вирішуючи спільно рівняння (5) і (2), знаходимо, що радіуси орбіт електрона в атомі водню прямо пропорційні квадратам головного квантового числа:

$$r_n = n^2 \frac{h^2 \epsilon_0}{\pi m e^2} \quad (1.6)$$

Енергія електрона в атомі водню складається з кінетичної енергії E_k і потенційної енергії притягання до ядра E_p :

$$E = E_k + E_p = \frac{mV^2}{2} - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} = -\frac{1}{2} \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (1.7)$$

Підставивши у вираження (7) значення з (6), одержуємо:

$$E_n = \frac{me^{-4}}{8h^2 \epsilon_0} \cdot \frac{1}{n^2} \quad (1.8)$$

Порівнюючи вираження (8) і (4), одержуємо значення сталої Рідберга R :

$$R = \frac{me^{-4}}{8h^3 \epsilon_0^2 c}$$

де c – швидкість світла у вакуумі $c = 2,997 \cdot 10^8 \approx 3 \cdot 10^8$ м/с;

$m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг – маса електрона;

ϵ_0 – електрична постійна (діелектрична проникність вакууму)

$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м

звідки можна знайти сталу Планка h :

$$h = \sqrt[3]{\frac{me^{-4}}{8R\epsilon_0^2 c}} \quad (1.9)$$

Сталу Рідберга, що входить у вираження (9), обчислюємо з вираження (1), що називають *серіальною формулою*:

$$R = \frac{v}{c} \cdot \frac{m^2 n^2}{n^2 - m^2} \quad (1.10)$$

де n і m - головні квантові числа, що визначають енергетичні рівні, між якими відбувається перехід електрона при випромінюванні кванта енергії даної частоти ν .

Всі лінії в спектрі водню утворюють цілий ряд серій (рис. 3.1). Серії поєднуються за номерами тієї орбіти (енергетичного рівня), на які відбувається перехід електрона числом m . Так, при переході на нову орбіту $m=1$ маємо серію Лаймана, що лежить в ультрафіолетовій області спектра, при переході на другу орбіту $m = 2$ маємо серію Бальмера, що лежить у видимій області спектра, при $m = 3, 4, 5$ перехід електронів відбувається відповідно на треті, четверті, п'яту орбіти, а серії, що утворюються при цьому, лежать в інфрачервоній області й називаються серією Пашена, Брекета, Пфунда. Усі серії ліній випромінювання зручно зображати на діаграмі енергетичних рівнів стрілками, що зв'язують рівні, між якими відбуваються переходи електронів (рис. 1.1). Із всього спектру випромінювання атома водню можна спостерігати тільки частину ліній серії Бальмера у видимій області спектра.

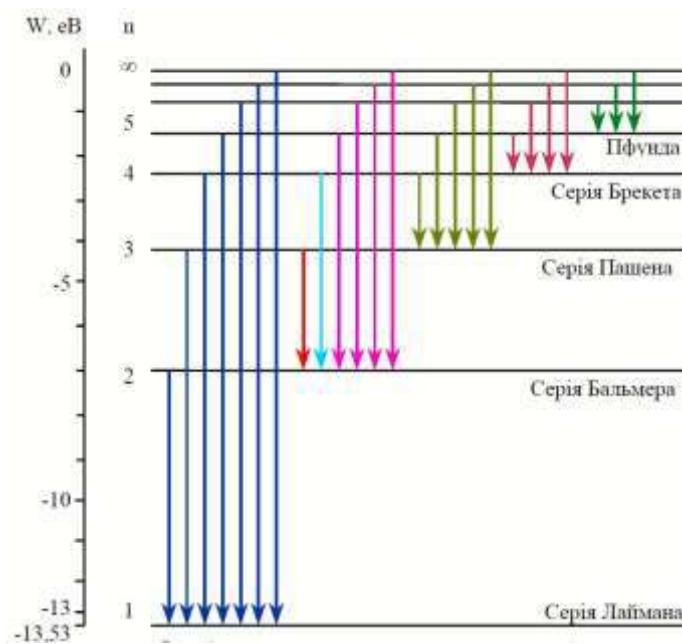


Рис.1.1. Схема енергетичних рівнів атома водню

Оскільки в роботі спостерігається серія ліній, що лежать у видимій області спектра, то в розрахункову формулу (10) потрібно підставити число $m = 2$, а число n приймає значення 3, 4, 5 і т.д. При виконанні роботи виміру підлягає не частота ν , а довжина хвилі λ_{2n} , де індекс $2n$ відповідає переходу електрона з орбіти № n на орбіту № 2. З огляду на заміну ν на λ , розрахункова формула (10) приймає вид:

$$R = \frac{4}{\lambda_{2n}} \cdot \frac{n^2}{n^2 - 4} \quad (1.11)$$

Порядок виконання роботи

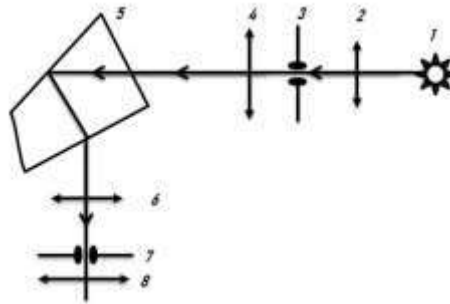
Робота складається з трьох частин:

- 1) Градування спектроскопа;
- 2) Визначення довжин хвиль у спектрі водню;
- 3) Визначення сталих Рідберга й Планка.

Опис установки та методика вимірювання

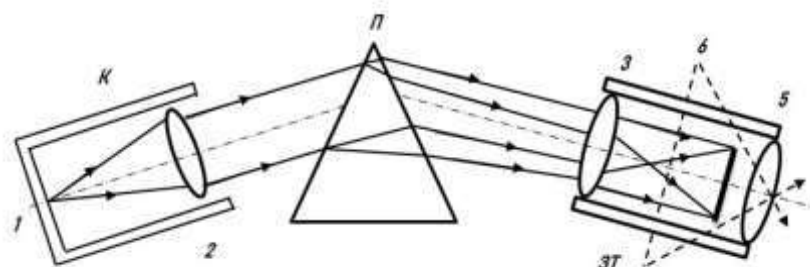
Лабораторна установка для вивчення спектрів водню зібрана на базі монохроматора УМ-2, який використовується як спектроскоп. Оптична схема установки наведена на рис. 1.2-1.3, де схематично виділені оптичні елементи, що входять до складу монохроматора. Світло від джерела 1 спрямовується на коліматорну вхідну лінзу 2, освітлює щілину 3, яка розташована в фокусі об'єктивної лінзи коліматора 4, і паралельним пучком потрапляє на збірну диспергуючу лінзу Аббе 5, яка розкладає світло у спектр. Об'єктив 6, щілина 7 і окуляр 8 утворюють зорову трубу. Призма обертається механізмом, з'єднаним з барабаном, який має спіральну шкалу з поділками від 0 до 3500°. При повороті барабана на одну поділку система призми обертається на 20°.

Монохроматор дозволяє визначити довжину хвилі спектральних ліній, які спостерігаються в окулярі приладу.



- 1 – джерело; 2 – вхідна лінза; 3, 7 – щілина; 4 – об'єктивна лінза коліматору;
5- диспергуюча лінза Аббе 5; 6 – об'єктив; 8 - окуляр

Рис. 1.2. Оптична схема універсального спектроскопу (монохроматора УМ-2)



- 1 – щілина; 2 – вхідна лінза; 3 – об'єктив; 4, 6 – зображення спектра; 5 - окуляр; ЗТ – зорова труба; К – коліматор; П – столик з призмою;

Рис. 1.3. Застосування спектроскопа для дослідження спектрів

**1. ГРАДУЮВАННЯ СПЕКТРОСКОПА.
ВИЗНАЧЕННЯ ДОВЖИН ХВИЛЬ У НЕОНОВОМУ СВІТЛІ**

1. Перед коліматором спектроскопу встановити джерело світла - неонову трубку .
1. Фіксують положення кожної лінії, сполучаючи нитку, видиму в зоровій трубці із зображенням кожної лінії спектра по черзі. Для цього служить барабан мікрометричного гвинта. Положення кожної лінії (N) визначають тричі й всі три виміри заносять у таблицю 1.1, після чого визначають середнє значення кожного положення. Значення довжин хвиль відповідних спектральних ліній наведені в таблиці 1.1.
2. Закріпити в тримачі газорозрядну трубку, заповнену воднем, подати на трубку високу напругу (джерело Спектр 1) і визначити за круговим барабаном значення поділок, які відповідають положенню двох ліній водню.
3. За допомогою отриманих даних побудувати градуювальну криву $\lambda = f(N)$. За допомогою градуювальної кривої спектроскопа визначити довжину хвилі для кожної лінії невідомого спектра

Таблиця 1.1

Кольори ліній	Довжина хвилі, нм	Положення ліній			
		N_1	N_2	N_3	$N_{\text{сер}}$
Крайня права червона	703				
Яскраво-червона,	640				
Червоно-жовтогаряча ліва із двох близьких	614				
Жовта	585				
Зелена ліва із двох са- мотніх ліній	540				
Синьо-зелена самотня	485				

2. ВИЗНАЧЕННЯ ДОВЖИН ХВИЛЬ У СПЕКТРІ ВОДНЮ

1. Перед щілиною коліматора заміняють неонову лампу водневою трубкою. Підключається трубка до Спектр 1 (тільки в присутності керівника!).
2. Визначають описаним вище способом положення червоної й синьо-зеленої лінії спектра водню й заносять у таблицю 1.2. Кожен вимір роблять три рази

Таблиця 1.2

Кольори ліній	Положення ліній	λ , нм	n	$R, \text{м}^{-1}$	ΔR	$\frac{\Delta R_{cp}}{R}$	$h, \text{Дж}\cdot\text{с}$	Δh	$\frac{\Delta h_{cp}}{h}$
	N								
Червона			3						
Синьо-зелена			4						
Середнє		-	-	$R_{сер} =$			$h_{сер} =$		

3. ВИЗНАЧЕННЯ СТАЛИХ РІДБЕРГА І ПЛАНКА

1. Використовуючи отримані значення довжин хвиль у спектрі водню по формулі (11), обчислюють сталу Рідберга та по формулі (9) обчислюють сталу Планка. Результати заносять у таблицю 2.
2. Абсолютні погрішності знаходять, порівнюючи отриманий результат з табличними значеннями.
3. Остаточний результат представляють у вигляді :

$$R = (R_{cp} \pm \Delta R_{cp}) \text{ м}^{-1}$$

$$h = (h_{cp} \pm \Delta h_{cp}) \text{ Дж}\cdot\text{с}$$

4. Розрахувати відносну й абсолютну похибки.
5. Зробити висновки з роботи.
6. Оформити звіт.

Контрольні питання

1. Яке будова атома відповідно до моделі Резерфорда?
2. Які протиріччя виникають при застосуванні до атома законів класичної електродинаміки?
3. Який вихід з виниклого протиріччя? Постулати Бора.
4. Накреслити схему енергетичних рівнів атома водню.
5. Пояснити процес випромінювання енергії атомом.
6. Що таке головне квантове число?
7. Який стан називається нормальним?
8. Який стан називається збудженим?
9. Від чого залежить частота випромінюваних хвиль? По якій формулі вона визначається?
10. Згідно якого принципу хвилі поєднуються в серії? Які серії існують у спектрі водню?
11. Яку серію ліній розглядають у роботі?
12. Як перебувають довжини хвиль у спектрі водню? Для чого виконується перша частина роботи?

13. Як знаходять сталу Рідберга та сталу Планка? Показати, як знаходять формулу для визначення сталої Рідберга? Що означає в цій формулі індекс 2; чому для червоної лінії - 3, а для синьо-зеленої - 4? Чому дорівнює n для фіолетової лінії?
14. Чому неперервно-випромінюючий електрон за законами електродинаміки повинен впасти на ядро? Як обходиться це в теорії Бора?
15. Перерахуйте основні досліди, які підтверджують існування в атомів складної структури.
16. Сформулюйте постулати Бора.
17. Поясніть зміст негативного значення енергії електрона.
18. Виведіть вираз для частоти обертання електрона по круговій орбіті.

РОЗРАХУНКИ до лабораторної роботи №8

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9

ВИВЧЕННЯ МІСТКА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ (УІТСТОНА)

ПРИЛАДИ Й МАТЕРІАЛИ: блок живлення, реохорд, магазин опорів, гальванометр, опори

МЕТА РОБОТИ: ознайомитись з принципом роботи містка Уїтстона і за його допомогою виміряти опори.

Короткі теоретичні відомості

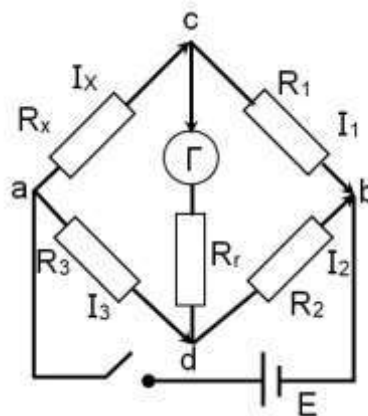


Рисунок 4.1. Схема містка Уїтстона

Для точного вимірювання опорів широко використовується метод містка постійного струму (Уїтстона). Принципову схему моста зображено на рис. 4.1. Місток складається з резистора R_x , опір якого вимірюється, та трьох резисторів з відомими опорами R_1 , R_2 , R_3 , з'єднаних чотирикутником, сторони якого називають *плечима моста*. Джерело струму E і гальванометр Γ вмикають в діагоналі моста. Запишемо перший (для вузлів c і d) та другий (для контурів acd і cbd) закони Кірхгофа:

$$I_x - I_1 - I_r = 0; \quad (1)$$

$$I_3 - I_2 + I_r = 0.$$

$$I_x R_x + I_r R_r - I_3 R_3 = 0; \quad (2)$$

$$I_1 R_1 - I_2 R_2 - I_r R_r = 0;$$

Якщо струм через гальванометр не проходить ($I_r = 0$), то із формул (1) і (2) випливає, що опори плечей моста будуть пов'язані співвідношенням:

$$R_x = R_1 \cdot \frac{R_3}{R_2}; \quad (3)$$

У цьому випадку кажуть, що міст збалансований. Описана схема дозволяє визначити невідомий опір R_x за трьома відомими опороми R_1 , R_2 , R_3 . Резистор з опором R_1 називають плечем порівняння, а резистори R_2 , R_3 - *плечима відношення*.

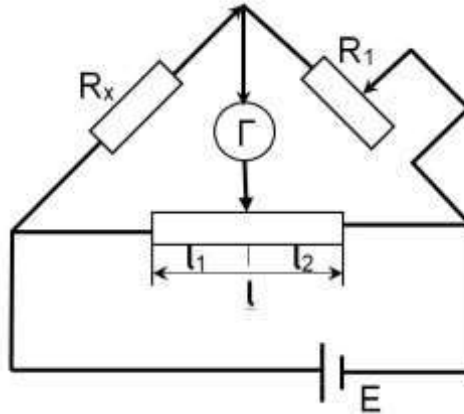


Рисунок 4.2.

У реохордних мостах опори відношення виконують у вигляді реохорда. При цьому відношення опорів R_3/R_2 дорівнює відношенню довжин відрізків l_1/l_2 (рис. 4.2) так, що замість формули (3) можна записати:

$$R_x = R_1 \cdot \frac{l-l_2}{l_2} = R_1 \cdot \frac{l_1}{l_2} \quad (4)$$

Отримана формула є розрахунковою.

Порядок виконання роботи

1. Увімкнути стенд з невідомим опором у мережу 220 В.
2. Встановити повзунок реохорда в довільне положення (окрім крайнього).
3. Визначити плечі моста l_1 та l_2 .
4. Натиснути кнопку на блоці живлення.
5. За допомогою перемикачів магазину опорів збалансувати міст, тобто підібрати такий опір R_1 , при якому стрілка гальванометра найменше відхиляється від нуля.
6. За формулою (4) обчислити невідомий опір R_x .
7. Повторити дослід ще два рази. Встановити повзунок реохорда в інше положення і виконати пункти 3-6. Таким чином отримати три значення невідомого опору R_x .
8. Підключити другий невідомий опір і виконати пункти 3-7.
9. З'єднати обидва опори спочатку послідовно, потім паралельно і виконати пункти 3-7.
10. Результати вимірювань і обчислень занести до таблиць 1.1-1.4.

Таблиця 1.1. Перший опір

№	$l_1, \text{м}$	$l_2, \text{м}$	$R_l, \text{ОМ}$	$R_{xi}, \text{ОМ}$	$ (R_x) - R_{xi} , \text{ОМ}$	$ (R_x) - R_{xi} ^2, \text{ОМ}$
1						
2						
3						
$R_x =$					$\sum_{i=1}^n (\Delta R_{xi})^2 =$	

Таблиця 1.2. Другий опір

№	$l_1, \text{м}$	$l_2, \text{м}$	$R_l, \text{ОМ}$	$R_{xi}, \text{ОМ}$	$ (R_x) - R_{xi} , \text{ОМ}$	$ (R_x) - R_{xi} ^2, \text{ОМ}$
1						
2						
3						
$R_x =$					$\sum_{i=1}^n (\Delta R_{xi})^2 =$	

Таблиця 1.3. Послідовне з'єднання опорів

№	$l_1, \text{м}$	$l_2, \text{м}$	$R_l, \text{ОМ}$	$R_{xi}, \text{ОМ}$	$ (R_x) - R_{xi} , \text{ОМ}$	$ (R_x) - R_{xi} ^2, \text{ОМ}$
1						
2						
3						
$R_x =$					$\sum_{i=1}^n (\Delta R_{xi})^2 =$	

Таблиця 1.4. Паралельне з'єднання опорів

№	$l_1, \text{м}$	$l_2, \text{м}$	$R_l, \text{ОМ}$	$R_{xi}, \text{ОМ}$	$ (R_x) - R_{xi} , \text{ОМ}$	$ (R_x) - R_{xi} ^2, \text{ОМ}$
1						
2						
3						
$R_x =$					$\sum_{i=1}^n (\Delta R_{xi})^2 =$	

11. Виконати статистичну обробку результатів для першого опору. Обчислити середнє арифметичне значення:

$$\langle R_x \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{xi},$$

де n - кількість значень.

Обчислити середньоквадратичне відхилення:

$$\Delta S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n |\Delta R_{xi}|^2}{n(n-1)}}.$$

Обчислити відносну похибку розрахунків:

$$\varepsilon = \frac{\Delta R_x}{\langle R_x \rangle} \cdot 100\%.$$

12. Аналогічно виконати статистичну обробку для другого опору, послідовного та паралельного з'єднань опорів.

13. За середніми значеннями опорів R_1 та R_2 перевірити, як узгоджується дослідний результат з теоретичним результатом, обчисленим за формулами послідовного і паралельного з'єднань:

$$R_{\text{посл.}} = R_1 + R_2 \quad \text{і} \quad R_{\text{пар}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

14. Розрахувати відносну й абсолютну похибки.

15. Зробити висновки з роботи.

16. Оформити звіт.

Контрольні запитання

1. Поясніть принцип дії містка постійного струму (Уїтстона).
2. Для чого в електричному колі містка Уїтстона використовуються реостат з ковзним контактом та магазин опорів?
3. Сформулюйте правила Кірхгофа. Запишіть формули, що їх визначають.
4. Наведіть приклади практичного застосування правил Кірхгофа.
5. Для чого в електричних колах використовують послідовне і паралельне з'єднання опорів? Запишіть формули, що їх визначають.
6. Яка мета роботи?
7. Що приймають за опір провідника? Що приймають за одиницю опору? Від яких величин залежить опір?
8. Чи залежить опір провідника від сили струму? Від напруги? Про що говорить рівність, одержувана із закону Ома?
9. Що називають силою струму? У яких одиницях вона вимірюється в системі СИ?
10. Що називається спаданням напруги? У яких одиницях воно вимірюється? Чи збігається падіння з різницею потенціалів?
11. Який момент називається моментом рівноваги містка?

РОЗРАХУНКИ до лабораторної роботи №9

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10

ВИМІР ІНДУКТИВНОСТІ І ЄМНОСТІ В ЛАНЦЮГАХ НИЗЬКОЇ ЧАСТОТИ

ПРИЛАДИ Й МАТЕРІАЛИ: амперметр і вольтметр змінного струму, котушка індуктивності, конденсатор, потенціометр, з'єднувальні провідники

МЕТА РОБОТИ: ознайомлення з одним зі способів виміру індуктивності і ємності провідника

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Електроємність відокремленого провідника чисельно дорівнює електричному заряду, який треба надати цьому провіднику, щоб потенціал змінився на одиницю:

$$C = \frac{q}{\varphi} \quad (1.1)$$

Одиниця електричної ємності – фарада: $[C] = 1 \text{ Ф}$.

1 фарада – це ємність такого провідника, потенціал якого змінюється на 1 В при наданні йому заряду в 1 Кл .

Відокремленим називається провідник, який знаходиться настільки далеко від інших тіл, що впливом їх електричних полів можна знехтувати.

Електроємність відокремленого провідника залежить від його форми і розмірів, причому геометрично подібні провідники мають ємності, прямо пропорційні до їхніх лінійних розмірів.

Електроємність прямо пропорційна до діелектричної проникності середовища.

Електроємність не залежить ні від матеріалу провідника, ні від його агрегатного стану, ні від форми і розмірів можливих порожнин всередині нього. Це пов'язано з тим, що надлишкові заряди розподілені тільки на зовнішній поверхні провідника.

Електроємність не залежить також від заряду провідника та його потенціалу.

Індуктивністю провідника (контурі) називається величина, чисельно рівна ЕРС самоіндукції, що виникає в провіднику (контурі) при зменшенні в ньому сили струму на одиницю в одиницю часу:

$$L = - \frac{E}{dl/dt} \quad (1.2)$$

Індуктивність – це фізична величина, яку можна чисельно виміряти за відношенням ЕРС самоіндукції, що виникає в контурі внаслідок зміни струму на 1 А за 1 с . Одиницею індуктивності в СІ називають *генрі* (Гн):

$$1\Gamma = \frac{1B}{1B/c} = 1 \frac{B \cdot c}{A}$$

Індуктивність у колі впливає на силу змінного струму. Пояснюється це явищем самоіндукції.

Індуктивність й ємність, включені в ланцюгу змінного струму, є реактивними опорами: індуктивний опір та ємнісний опір.

Закон Ома – це формула, яка використовується для розрахунку співвідношення між напругою, струмом та опором в електричному колі.

Закон Ома для змінного струму:

Значення струму в колі змінного струму прямо пропорційно напрузі і обернено пропорційно повному опору кола:

$$I = \frac{U}{Z} \quad (1.3)$$

Після відкриття в 1831 Фарадеєм електромагнітної індукції, з'явилися перші генератори постійного, а після і змінного струму. Закон Ома для змінного струму має свої особливості та відмінності від підключень із постійним струмом, що визначаються наявністю реактивних елементів.

Повний опір кола.

При розрахунку кола змінного струму замість поняття опору вводять поняття «імпеданс». Імпеданс позначають буквою Z , в нього входить активний опір навантаження R і реактивний опір X . Це пов'язано з формою синусоїдального струму і параметрами індуктивних елементів, а також законів комутації:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (1.4)$$

де X_L і X_C – це складові реактивного опору. Це безпосередньо залежить від того, які активні і реактивні елементи присутні в схемі і як вони з'єднані.

Індуктивний опір – це опір провідника зумовлений його індуктивністю. Такий опір має котушка індуктивності, яка є носієм і символом індуктивного опору. Причиною виникнення індуктивного опору є електрорушійна сила самоіндукції L , яка виникає в результаті зміни струму в провіднику, і, за правилом Ленца, перешкоджаючи зміні цього струму, чинить йому тим самим додатковий опір. Індуктивний опір x_L визначається як відношення амплітуди напруги до амплітуди струму

$$x_L = w \cdot L \quad (1.5)$$

Ємнісний опір це опір провідника зумовлений його ємністю. Такий опір має конденсатор, який є носієм і символом ємнісного опору. Конденсатор розриває коло постійного струму, але змінний струм проходить через конденсатор, завдяки перезарядці його обкладинок. При зарядці конденсатора на ньому виникає напруга, яка протидіє зміні зовнішньої напруги, чим і пояснюється

ємнісний опір. *Ємнісний опір* має бути обернено пропорційний частоті коливань та ємності провідника

$$x_c = \frac{1}{w \cdot C} \quad (1.6)$$

Закон Ома для змінного струму при наявності реактивних опорів запишеться так:

$$I_{ef} = \frac{U_{ef}}{\sqrt{R_0^2 + \left(w \cdot L - \frac{1}{w \cdot C}\right)^2}} \quad (1.7)$$

Ефективні значення сили струму й напруги вимірюються по приладах.

Якщо в схемі включено тільки індуктивний опір, то закон Ома запишеться так:

$$I_{ef} = \frac{U_{ef}}{\sqrt{R_0^2 + w^2 L^2}} \quad (1.8)$$

де R_0 – активний або омичний опір котушки.

Активний опір буває в багато разів менше індуктивного і ємнісного опорів, то величиною R_0 можна зневажити. Тоді:

$$I_{\text{эф}} = \frac{U_{\text{эф}}}{w \cdot L}$$

$$L = \frac{U_{\text{эф}}}{w \cdot I_{\text{эф}}} \quad (1.9)$$

тоді:

де w – циклічна частота мережі (314 c^{-1})

(Її значення визначається формулою $\omega = 2\pi f$, де f є частотою цієї мережі (Гц).

При наявності в ланцюзі й індуктивного і ємнісного опорів можна записати:

$$I_{\text{эф}} = \frac{U_{\text{эф}}}{\frac{1}{w \cdot C} - wL},$$

звідки

$$C = \frac{I_{ef}}{w(I_{ef} \cdot w \cdot L_{сер} + U_{ef})} \quad (1.10)$$

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ.

1. Скласти робочу електричну схему за рисунком 5.1.

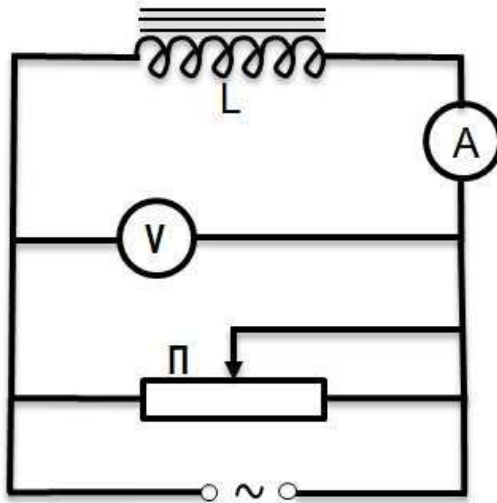


Рис. 5.1

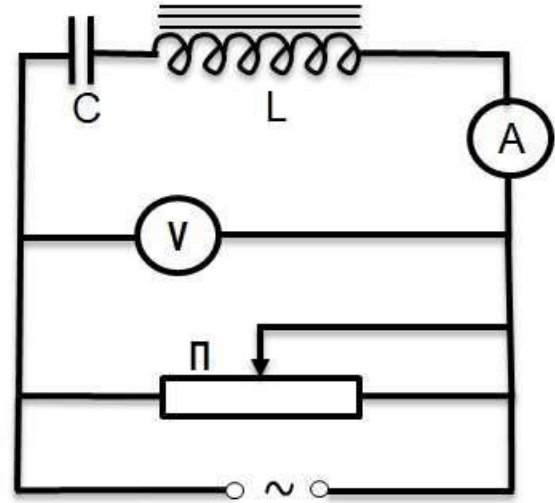


Рис. 5.2

2. Змінюючи потенціометром напругу в електричній схемі, для п'яти різних значень напруги вимірювати значення сили струму та занести в таблицю 5.1

Таблиця 5.1

№ з/п	$I_{ef},$ А	$U_{ef},$ В	$L,$ Г	$L_{сер},$ Г	$\Delta L,$ Г	$\Delta L_{сер},$ Г	$\frac{\Delta L_{сер}}{L_{сер}}$
1							
2							
3							
4							
5							

3. Зібрати електричну схему за рисунком 5.2.

4. Для п'яти різних значень напруги вимірювати силу струму та занести в таблицю 5.2.

Таблиця 5.2

№ з/п	$I_{ef},$ А	$U_{ef},$ В	$L_{сер},$ Г	$C,$ Ф	$C_{сер},$ Ф	$\Delta C,$ Ф	$\Delta C_{сер},$ Ф	$\frac{\Delta C_{сер}}{C_{сер}}$
1								
2								
3								
4								
5								

5. За формулою (1.9) обчислити значення індуктивності L за даними таблиці 5.1; за формулою (1.10) обчислити значення ємності C – за даними таблиці 5.2, причому при обчисленні ємності значення індуктивності $L_{сер}$ взяти з таблиці 5.1.

6. Розрахувати відносну й абсолютну похибки.
7. Зробити висновки з роботи.
8. Оформити звіт.

Контрольні питання

1. Що називається індуктивністю провідника (контур)?
2. У яких одиницях вона вимірюється в системі СІ?
3. Що приймають за одиницю індуктивності?
4. Що називається електроємністю провідника; у яких одиницях вона вимірюється в системі СІ?
5. Що приймають за одиницю ємності?
6. Що собою представляє індуктивний й ємнісний опір?
7. Показати, у яких одиницях вони вимірюються. Що таке U ? Чому вона дорівнює? Що таке I ? У яких одиницях воно вимірюється?
8. Чому дорівнює I для промислового струму? Як записується закон Ома для ланцюга, що містить тільки активний опір? Активний, індуктивний й ємнісний опір.



ЧЕРНЕТКА

СПИСОК ВИКОРИСТОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бушок Г.Ф., Левандовський В.В., Півень Г.Ф. Курс фізики. Кн.1. Київ.: Либідь, 2001. 420 с.
2. Бушок Г.Ф., Венгер Є.Ф. Курс фізики. Кн.2. Київ.: Либідь, 2001. 455 с.
3. Дущенко В.П., Кучерук І.М. Загальна фізика. Київ.: Вища школа, 1987. 392 с.
4. Зачек І.Р., Кравчук І.М. Курс фізики. Львів.: Бескид Бит, 2002. 411 с.
5. Чолпан П.П. Фізика: підручник. Київ Вища школа, 2003. 567 с.
6. Король А.М., Андріяшик М.В. Фізика. Механіка, молекулярна фізика і термодинаміка. Електрика і магнетизм. Оптика. Елементи квантової механіки, фізика атома, атомного ядра і елементарних частинок. Підручник для студентів вищих технічних навчальних закладів. – Київ.: Фірма «Інкос», 2006.344 с.
7. Пастушенко С.М. Загальна фізика. Механіка: Навчальний посібник. Київ.: НАУ. 2002. 284 с.
8. Лопатинський І.Є., І.Р. Зачек, Г.А. Ільчук, Б.М. Романишин. Фізика: Підручник. Львів: Афіша, 2005. 386 с.
9. Бушок Г.Ф., Є.Ф. Венгер. Курс фізики: Навчальний посібник: у 3-х книгах. К.: Вища школа, 2002.
10. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики: у 3- томах. К.: Техніка, 1999. 532 с.
11. Віртуальні лабораторні роботи з фізики: Методичний посібник/ Укладач Счкало Ю.В. Кривий Ріг: КНУ, 2012.

