

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

**ФІЗИКА: ЛАБОРАТОРНИЙ  
ПРАКТИКУМ  
ДЛЯ СТУДЕНТІВ ПІДГОТОВЧИХ  
ВІДДІЛЕНЬ З ЧИСЛА ІНОЗЕМНИХ  
ГРОМАДЯН**

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського  
як навчальний посібник для слухачів  
підготовчого відділення для іноземних громадян*

Київ  
КПІ ім. Ігоря Сікорського  
2018

Назва: Фізика: Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студентів підготовчих відділень з числа іноземних громадян / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: А.М. Цюпа, О.В. Матвійчук. – Електронні текстові данні (1 файл: 2,68 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 85 с.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 4 від 20.12.2018 р.)  
за поданням Вченої ради Фізико-математичного факультету (протокол № 10 від 27.11.2018 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

# ФІЗИКА: ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ ДЛЯ СТУДЕНТІВ ПІДГОТОВЧИХ ВІДДІЛЕНЬ З ЧИСЛА ІНОЗЕМНИХ ГРОМАДЯН

Укладачі: *Цюпа Андрій Митрофанович,  
Матвійчук Олексій Васильович, канд. пед. наук*

Відповідальний редактор: *Котовський В.Й., доктор тех. наук, професор*

Рецензенти: *Бригінець В.П., канд. фіз.-мат. наук, доцент  
Меняйло С.М., канд. пед. наук, доцент*

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018

Навчальний посібник містить опис 19-и робіт лабораторного практикуму з усіх розділів курсу фізики, створеного на кафедрах загальної та експериментальної фізики і загальної фізики та фізики твердого тіла Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» на базі лабораторного обладнання виготовленого на рівненському СКБ "Учприлад". Практикум складено відповідно до діючої програми з фізики для підготовчих відділень та аналогічної програми підготовки абітурієнтів до зовнішнього незалежного оцінювання знань з фізики. Контрольні питання для перевірки знань студентів наведено наприкінці кожної роботи. Для кращого розуміння матеріалу широко використовуються ілюстрації у вигляді рисунків та графіків.

Даний практикум може бути використаний студентами першого курсу інженерних спеціальностей для кращого засвоєння адаптаційного курсу фізики, а також фізичних спеціальностей при вивченні курсу «Вступ до спеціальності».

## Джерела і види похибок

Основою фізики є експеримент, при проведенні якого використовуються прямі і непрямі вимірювання. *Прямими* називають вимірювання, при яких чисельне значення величини отримують безпосередньо при виконанні експерименту. *Непрямими* називають вимірювання, при яких чисельне значення величини отримують після виконання математичних операцій над результатами прямих вимірювань.

При проведенні будь-якого фізичного експерименту завжди виникають похибки. Оцінювання похибки вимірів є однією з головних завдань обробки результатів експерименту.

В залежності від причин їх виникнення похибки поділяються на три види:

- промахи;
- систематичні;
- випадкові.

Промахи – це грубі похибки, які пов'язані з неуважністю людини (експериментатора) або з порушеннями умов експерименту; результати експериментів, в яких допущено промахи не враховуються.

Систематичні – це похибки, які залишаються сталими в кожному вимірі при користуванні певним вимірювальним приладом.

Випадкові – це похибки, величина і знак яких змінюється від виміру до виміру.

## Підрахунки похибок

Систематична похибка прямого вимірювання оцінюється величиною сумарної систематичної похибки:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_{np}^2 + \sigma_{окр}^2}, \quad (1)$$

де  $\sigma_{np} = \frac{\Delta}{3}$  ( $\Delta$  – гранична похибка приладу),  $\sigma_{окр}$  – похибка округлення (похибка зчитування із шкали приладу), ( $\sigma_{окр} = \frac{\delta}{\sqrt{12}}$ ;  $\delta$  – ціна поділки шкали приладу).

Гранична похибка приладу  $\Delta$  дана в паспорті до даного приладу. В деяких випадках її величина визначається за класом точності приладу, значення якого нанесено на шкалу цього приладу:

$$\Delta = \frac{kx_{max}}{100\%}, \quad (2)$$

де  $x_{max}$  – максимальне значення, яке нанесене на шкалу приладу,  $k$  – клас точності приладу.

Клас точності приладу – це виражена у відсотках відносна похибка приладу при відхиленні стрілки на усю шкалу:

Тоді систематична похибка прямого вимірювання дорівнює:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\frac{\Delta^2}{9} + \frac{\delta^2}{12}}.$$

Випадкова похибка прямого вимірювання характеризується середньою квадратичною похибкою результатів експерименту.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \langle x \rangle)^2}{n-1}}. \quad (3)$$

Для скінченного числа вимірів  $n$  середня квадратична похибка середнього значення  $x$  визначається за формулою:

$$S_{\langle x \rangle} = \frac{S}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \langle x \rangle)^2}{n(n-1)}}. \quad (4)$$

Для визначення форми запису остаточного результату слід порівняти середню квадратичну похибку середнього  $S_{\langle x \rangle}$  з систематичною похибкою  $\sigma_{\Sigma}$ :

1) якщо  $S_{\langle x \rangle} > 3 \cdot \sigma_{\langle x \rangle \Sigma}$ , то можна знехтувати систематичною похибкою і визначити напівширину інтервалу довіри за формулою:  $\Delta x = t_{\alpha, n} \cdot S_{\langle x \rangle}$ , де  $t_{\alpha, n}$  – коефіцієнт Стюдента, який залежить від імовірності довіри  $\alpha$  і числа вимірювань  $n$ ;

2) якщо  $\sigma_{\langle x \rangle \Sigma} > 3 \cdot S_{\langle x \rangle}$ , то можна знехтувати середньою квадратичною похибкою середнього і визначити напівширину інтервалу довіри за формулою:  $\Delta x = \gamma_{\alpha} \cdot \sigma_{\langle x \rangle \Sigma}$ , де  $\gamma_{\alpha}$  – коефіцієнт Гаусса, який залежить лише від імовірності довіри  $\alpha$ ;

3) Якщо значення величини  $\sigma_{\Sigma}$  і  $S_{\langle x \rangle}$  мало відрізняються, то інтервалу довіри можна не розраховувати.

Остаточний запис результатів прямого вимірювання має вигляд:

$$x = \langle x \rangle \pm \Delta x. \quad (5)$$

Для непрямого вимірювання зручно визначати відносну похибку ( $\varepsilon$ ). Формула цієї похибки залежить від розрахункової формули величини, яка вимірюється. Наприклад, якщо розрахункова формула має вигляд:

$$Q = \frac{xy^2}{z}$$

де  $Q$  – результат непрямого вимірювання, то:

$$\varepsilon = \frac{\Delta Q}{\langle Q \rangle} = \sqrt{\left(\frac{\Delta x}{\langle x \rangle}\right)^2 + \left(2 \frac{\Delta y}{\langle y \rangle}\right)^2 + \left(\frac{\Delta z}{\langle z \rangle}\right)^2}$$

Тоді абсолютне значення похибки непрямого вимірювання дорівнює:

$$\Delta Q = \varepsilon \langle Q \rangle$$

Остаточний запис результатів непрямого вимірювання має вигляд:

$$Q = \langle Q \rangle \pm \Delta Q$$

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

### Визначення густини тіл правильної геометричної форми

Прилади і обладнання: технічні терези з важками, штангенциркуль, набір тіл правильної геометричної форми.

#### Теорія методу

Густиною однорідного тіла називається фізична величина, яка рівна відношенню маси цього тіла до його об'єму:

$$\rho = \frac{m}{V}. \quad (1.1)$$

Якщо, тіло має правильну геометричну форму, то його об'єм можна обчислити за знайденими експериментально лінійними розмірами тіла. У цьому випадку густину тіл правильної геометричної форми можна визначити за формулами:

а) для паралелепіпеда  $\rho = \frac{m}{a \cdot b \cdot h}, \quad (1.2)$

б) для циліндра  $\rho = \frac{4 \cdot m}{\pi \cdot d^2 \cdot h}, \quad (1.3)$

в) для кулі  $\rho = \frac{6 \cdot m}{\pi \cdot d^3}, \quad (1.4)$

де  $m$  – маса тіла;  $a, b$  - довжина і ширина паралелепіпеда;  $h$  – висота паралелепіпеда або циліндра;  $d$  – діаметр основи циліндра або діаметр кулі.

Вимір густини тіл з використанням наведених формул – це непрямий вимір, тому що значення  $\rho$  одержують після проведення арифметичних дій над результатами прямих вимірів маси і лінійних розмірів тіл.

Лінійні розміри тіл у даній роботі вимірюються штангенциркулем. Його загальний вигляд показаний на рис. 1.1.



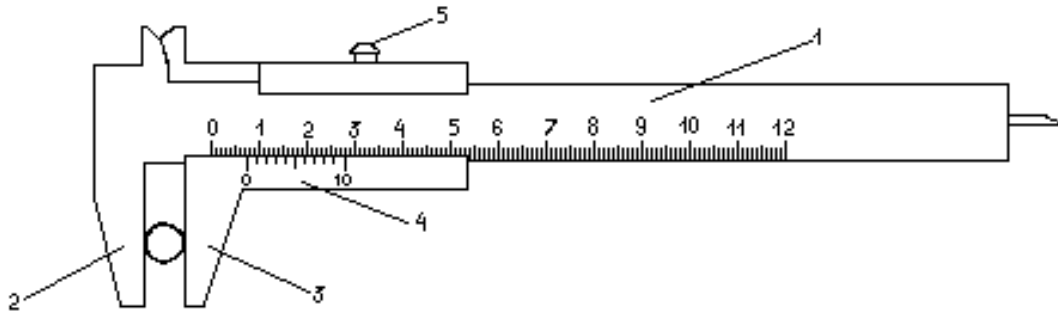


Рис. 1.1.

Штангенциркуль складається зі сталеві міліметрової лінійки 1, з одного боку якої є нерухома ніжка 2. Друга ніжка 3 має ноніус 4 і може рухатися уздовж лінійки. Коли обидві ніжки стикаються, нуль лінійки і нуль ноніуса повинні збігатися. Якщо треба виміряти довжину предмета, його кладуть між ніжками, ніжку з ноніусом рухають до зіткнення з предметом і закріплюють гвинтом 5. Після цього роблять відлік по лінійці і ноніусу, а потім обчислюють довжину предмета  $L$  рівну сумі цілого числа  $K$  поділок масштабної лінійки і числа  $n$  десятих частин однієї поділки. Число  $n$  визначається за тією поділкою ноніуса, що збігається з будь-якою поділкою масштабної лінійки.

$$L = \left( K + \frac{n}{10} \right) \text{ мм.} \quad (1.5)$$

Для виміру маси тіл у цій роботі використовуються технічні терези з набором важків різної маси. Технічні терези (рис. 1.2) складаються з рівноплечного важеля 1 (його називають коромислом), опорою якого служить ребро сталеві призми. Вона знаходиться посередині коромисла. Ребро призми спирається на пластину, яка закріплена нагорі стояка 2. На кінцях коромисла є призми. Вони потрібні для підвішування чашок терезів. Щоб дізнатись про положення коромисла, ми дивимося на довгу стрілку 3, яка

прикріплена до його середини. Кінець стрілки рухається перед шкалою 4, яка знаходиться внизу стояка. Якщо на чашках терезів немає вантажу, то коромисло повинно встановлюватись горизонтально і стрілка при цьому вказуватиме на середню поділку шкали. *Коли терези не працюють, їх треба аретувати за допомогою повороту ручки 5. Вона знаходиться в нижній частині терезів. При аретуванні призми терезів звільняються від тиску і від даремного зношування.*

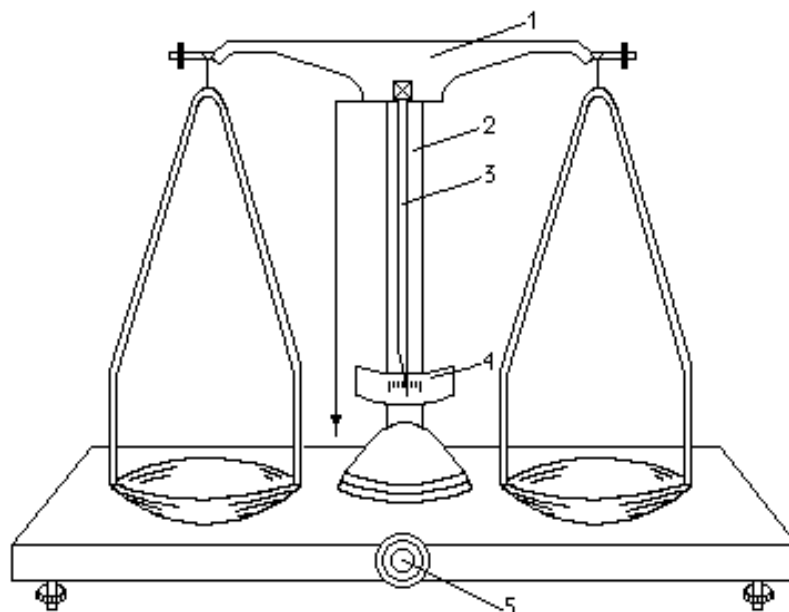


Рис. 1.2.

Коли ви зважуєте, треба робити так:

- 1) Поки терези не аретировані, не можна класти на чашки або знімати з них важки.
- 2) Важки необхідно класти так, щоб їх спільний центр мас був на середині чашки.
- 3) Важки слід брати пінцетом.
- 4) При зважуванні, треба зрівноважити чашки терезів. Для цього звільняють коромисло і спостерігають, яка з чашок переважає.

5) Після закінчення зважування терези треба аретирувати, зняти важки, записати масу тіла в таблицю. Важки треба класти тільки в шухляду на конкретні місця.

б) Для зменшення похибки виміри треба повторити, поклавши тіло на іншу чашку.

Порядок виконання роботи

1. Штангенциркулем виміряти лінійні розміри всіх зразків і записати їх значення в таблиці 1.1.-1.3.

2. На технічних терезах виміряти маси всіх зразків за правилами зважування, що наведені в теоретичних відомостях до роботи.

3. Підрахувати значення густини для кожного тіла. Підставити отримані значення маси і лінійних розмірів у потрібну формулу (1.2 -1.4).

а) для паралелепіпеда:

Таблиця 1.1.

№, дослід	$a$ , мм	$b$ , мм	$h$ , мм	$m$ , кг	$\langle a \rangle$ , м	$\langle b \rangle$ , м	$\langle h \rangle$ , м	$\langle m \rangle$ , кг	$\langle \rho \rangle$ , $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
1.									
2.									
3.									

б) для циліндра:

Таблиця 1.2.

№, дослід	$d$ , мм	$h$ , мм	$m$ , кг	$\langle d \rangle$ , м	$\langle h \rangle$ , м	$\langle m \rangle$ , кг	$\langle \rho \rangle$ , $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
1.							
2.							
3.							

в) для кулі:

Таблиця 1.3.

№, дослід	$d$ , мм	$m$ , кг	$\langle d \rangle$ , м	$\langle m \rangle$ , кг	$\langle \rho \rangle$ , $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
1.					
2.					
3.					

### Контрольні запитання

1. Що таке густина тіла? Як виміряти густину тіла правильної геометричної форми?
2. Розкажіть про будову штангенциркуля. Як виміряти їм довжину предмета?
3. Розкажіть про будову технічних терезів. Які правила треба виконувати при зважуванні?
4. Розкажіть про прямі і непрямі виміри. Які виміри в даній роботі є прямими?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

### Визначення густини твердих тіл методом гідростатичного зважування

*Прилади і обладнання:* динамометр, склянка, набір тіл неправильної геометричної форми.

#### **Теорія методу.**

Якщо тверде тіло не має правильної геометричної форми виміряти його об'єм складно. Для визначення густини таких тіл використовують метод гідростатичного зважування, у якому двічі вимірюють вагу досліджуваного тіла: один раз у повітрі, а другий раз

– у рідині з відомою густиною  $\rho_p$  (наприклад у воді). Якщо врахувати всі сили, що діють на тіло в рідині (рис. 2.1), то вага тіла:

$$F_1 = mg - F_A, \quad (2.1)$$

де  $m$  – маса тіла,  $F_A = \rho_p g V$  – виштовхувальна сила, яка діє на тіло, занурене в рідину, і визначається за законом Архімеда.

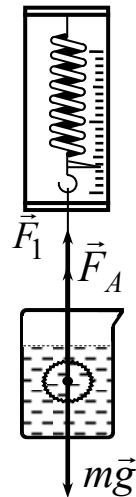


Рис. 2.1.

Коли тіло знаходиться в повітрі виштовхувальною силою можна знехтувати і тоді вага тіла в повітрі:

$$F_0 = mg. \quad (2.2)$$

Якщо виразити масу  $m$  через густину тіла  $\rho$  і його об'єм  $V$  ( $m = \rho \cdot V$ ), то:

$$\frac{F_1}{F_0} = \frac{\rho g V - \rho_p g V}{\rho g V} = \frac{\rho - \rho_p}{\rho}. \quad (2.3)$$

Або остаточно:

$$\rho = \frac{\rho_p}{1 - \frac{F_1}{F_0}}.$$

Щоб визначити густину тіл методом гідростатичного зважування використовують установку, схема якої показана на рис. 2.1. Установка складається зі штатива 1. У верхній частині штатива

закріплюється динамометр 3. На вільний кінець пружини динамометра підвішується вантаж 4 відомої маси. Вантаж занурюють у склянку з водою 2.

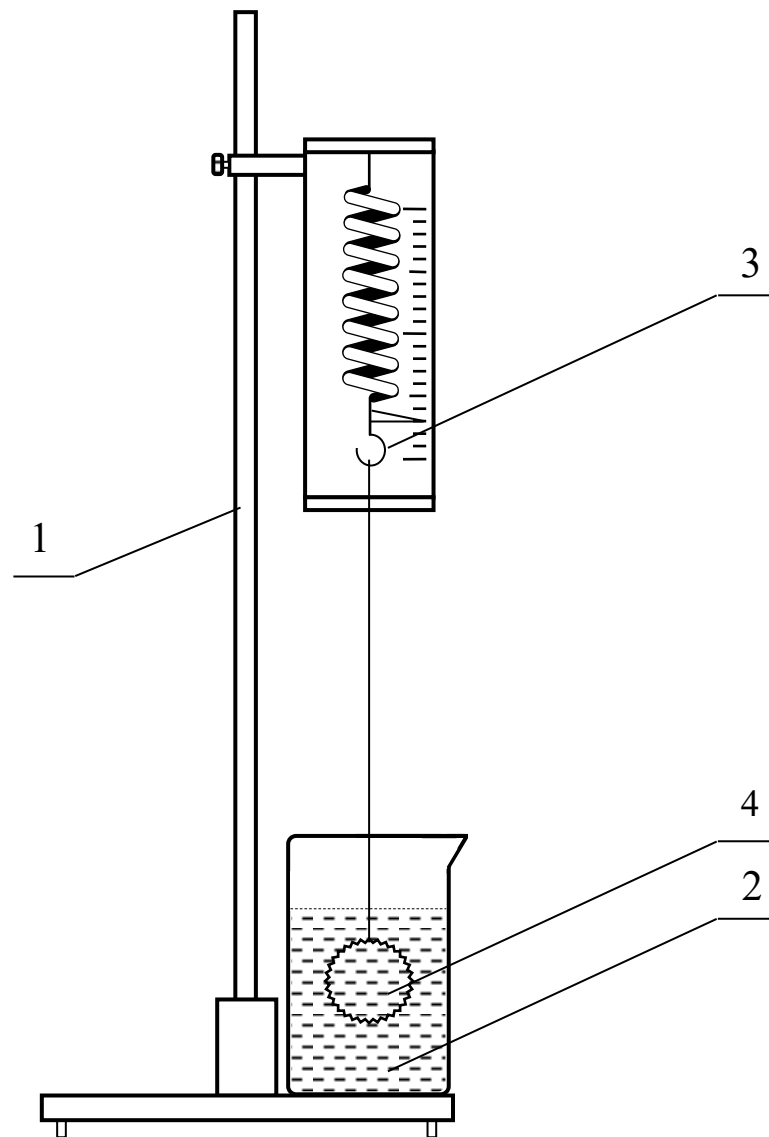


Рис. 2.1

Порядок виконання роботи

1. Закріпити на штативі динамометр.
2. Підвісити до пружини вантаж і виміряти його вагу в повітрі.
3. Занурити вантаж у склянку з водою і записати в таблицю 2.1 покази динамометра.
4. За формулою (2.4) визначити густину тіла.
5. Результати вимірів записати в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1.

№ досліджу	$\rho_{ж},$ кг/м <sup>3</sup>	$F_0,$ Н	$F_1,$ Н	$\rho,$ кг/м <sup>3</sup>
1.				
2.				
3.				

### Контрольні запитання

1. Сформулюйте закон Архімеда.
2. Розкажіть про будову та принцип дії динамометра. Що він вимірює?
3. Розкажіть про метод гідростатичного зважування.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

### Вивчення законів руху тіл на машині Атвуда

*Прилади і обладнання:* лабораторна установка.

#### **Теорія методу та опис експериментальної установки**

Машина Атвуда використовується для дослідження законів руху тіл у полі земного тяжіння.

Будова машини показана на **рис. 3.1**. Легкий алюмінієвий блок вільно обертається навколо осі. Вісь закріплена у верхній частині стояка. На стояк нанесена шкала із сантиметровими поділками. Через блок перекинута тонка нитка. На її кінцях висять тягарці рівної маси  $m$ . Якщо на правий вантаж помістити додатковий вантаж масою  $m_0$ , то система тягарців виходить із рівноваги і починає рухатися з прискоренням. На вантаж з

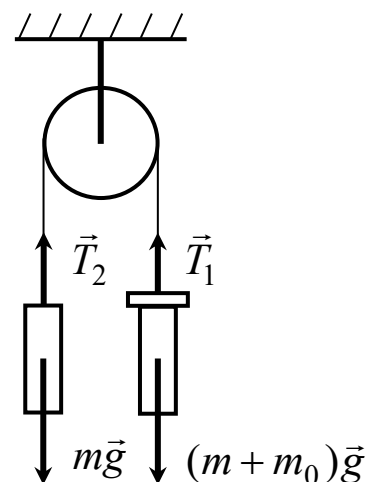


Рис. 3.2.

додатковим вантажем (рис. 3.2) діють дві сили: сила тяжіння  $(m + m_0)\vec{g}$  і сила натягу правої частини нитки  $\vec{T}_1$ . За другим законом Ньютона:

$$(m + m_0) \cdot g - T_1 = (m + m_0) \cdot a, \quad (3.1)$$

де  $a$  – прискорення правого тягарця.

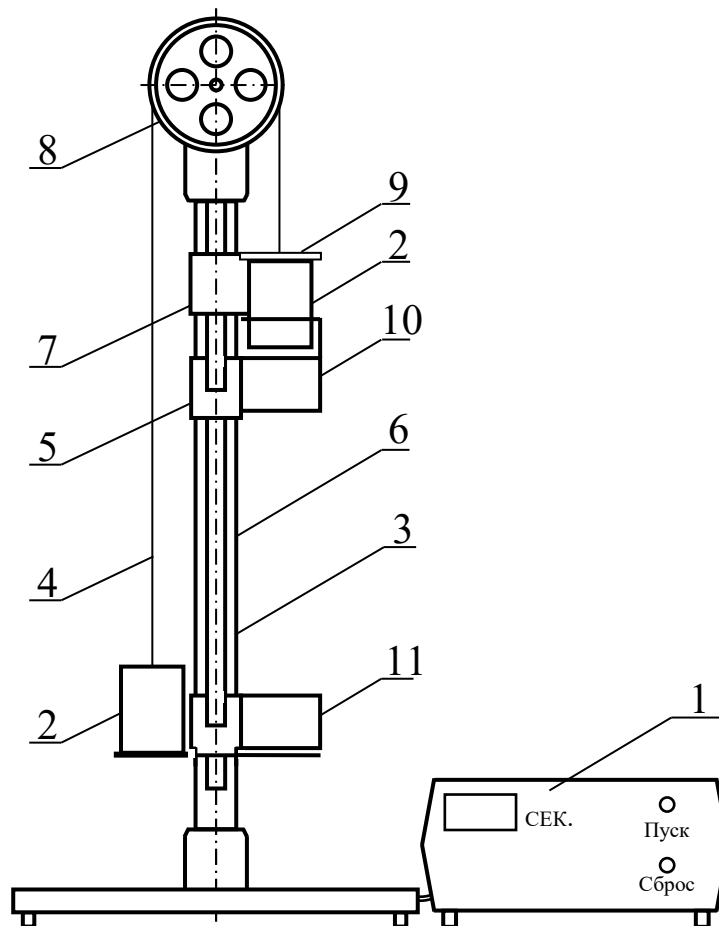


Рис. 3.1.

1 – електронний секундомір; 2 – тягарець; 3 – стояк; 4 – нитка; 5 – кронштейн із кільцевою платформою; 6 – шкала; 7 – верхній кронштейн; 8 – блок; 9 – додатковий вантаж; 10 – верхній фотодатчик; 11 – нижній фотодатчик

Застосуємо другий закон Ньютона до руху лівого тягарця. Якщо вважати нитку, що зв'язує тягарці, нерозтяжною, то прискорення лівого тягарця дорівнює за абсолютною величиною прискоренню



правого тягарця і направлене в протилежний бік. Воно дорівнює  $a$ .  
Якщо сила натягу правої частини нитки  $T_2$ , то:

$$m \cdot g - T_2 = - m \cdot a. \quad (3.2)$$

При невагомому блоці сили натягу  $T_1$  і  $T_2$  рівні:

$$T_1 = T_2. \quad (3.3)$$

При спільному розв'язанні рівнянь (3.1), (3.2) і (3.3), одержимо:

$$a = \frac{m_0 \cdot g}{2m + m_0}. \quad (3.4)$$

З формули (3.4) випливає, що рух тягарців у машині Атвуда рівноприскорений і величина прискорення  $a$ , при невеликих масах додаткового вантажу, набагато менша  $g$ . Рівноприскорений рух тягарців дозволяє експериментально перевірити виконання

кінематичного співвідношення  $h = \frac{a \cdot t^2}{2}$ , яке зручніше записати у вигляді:

$$a = \frac{2h}{t^2}, \quad (3.5)$$

де  $h$  - відстань, що пройшов вантаж за час  $t$ . Якщо величина  $a$  постійна для декількох значень  $h$ , то при постійній масі додаткового вантажу  $m_0$ , можна перевірити закон шляху при рівноприскореному русі.

### Порядок виконання роботи

#### Завдання 1

Перевірка закону рівноприскореного руху  $h = \frac{a \cdot t^2}{2}$

1. Привести систему в початкове положення. Для цього опустити лівий тягарець на гумову підставку. Встановити кронштейн із

верхнім фотодатчиком у таке положення, щоб нижній кінець правого тягарця знаходився над оптичною віссю фотодатчика. Визначити положення оптичної осі верхнього фотодатчика за шкалою (значення  $y_0$ ).

2. Ввімкнути установку. При цьому вмикається фрикційне гальмо. Воно утримує систему в початковому положенні.

3. Установити кронштейн із нижнім фотодатчиком у нижній частині стояка і визначити за шкалою положення оптичної осі фотодатчика (значення  $y_1$ ).

4. Натиснути клавішу "СБРОС". На шкалі цифрової індикації часу повинні з'явитися нулі. На правий тягарець покласти додатковий вантаж масою  $m_0$ .

5. Натиснути клавішу "ПУСК". Фрикційне гальмо відключається, система тягарців починає рухатися, і вимикається електронний секундомір. Відлік часу починається, коли нижній кінець правого тягарця перетинає оптичну вісь верхнього фотодатчика. Відлік припиняється, коли правий тягарець перетинає оптичну вісь нижнього фотодатчика. Час руху тягарця  $t_1$ , виміряний секундоміром, і відстань  $h = y_0 - y_1$ , пройдену тягарцем, записати в таблицю 2.1.

6. Натиснути клавішу "СБРОС". Привести систему в початковий стан.

7. Повторити виміри за п. 5-6 три рази.

8. Повторити виміри за п. 5-7 для 3-5 положень нижнього фотодатчика.

9. Після закінчення експерименту зняти додатковий вантаж та вимкнути машину Атвуда.

10. Правильність співвідношення  $a = \frac{2h_1}{t_1^2} = \frac{2h_2}{t_2^2} = \dots = \frac{2h_n}{t_n^2}$  при

одній і тій же масі  $m_0$  є перевіркою закону шляху для рівноприскореного руху.

Таблиця 2.1

№ дослід	$y_0$ , мм	$y_1$ , мм	$h = y_0 - y_1$ , мм	$t$ , с	$t_{cp}$ , с	$a$ , м/с <sup>2</sup>
1.						
2.						
3.						

### Завдання 2

*Перевірка закону рівномірного руху  $h = v \cdot t$ .*

1. Привести систему в початкове, положення. Для цього опустити лівий тягарець на гумову підставку. Закріпити на кронштейні із верхнім фотодатчиком кільцеву платформу (щоб зняти додатковий вантаж) і поставити цей кронштейн трохи нижче правого тягарця. Відзначити положення оптичної осі верхнього фотодатчика за шкалою (значення  $y_0$ ).

2. Ввімкнути установку і провести виміри (дивись п. 2-5 завдання 1). Треба пам'ятати, що в завданні 2 секундомір вимірює час рівномірного руху тягарця, коли зняти додатковий вантаж.

3. Згідно п. 6 завдання 1 привести систему в початковий стан і покласти додатковий вантаж масою  $m_0$  на правий тягарець.

4. Повторити виміри за п. 2-3 три рази.

5. Повторити виміри за п. 2-4 для трьох положенні нижнього фотодатчика.

6. Після закінчення експерименту необхідно зняти додатковий вантаж та вимкнути машину Атвуда.

7. Правильність співвідношення  $v = \frac{h_1}{t_1} = \frac{h_2}{t_2} = \dots = \frac{h_n}{t_n}$  при

однакових масах  $m_0$  додаткового вантажу і тому самому положенні верхнього фотодатчика є перевіркою закону шляху для рівномірного руху.

Таблиця 2.2

№ дослідю	$y_0$ , мм	$y_1$ , мм	$h = y_0 - y_1$ , мм	$t$ , с	$t_{cp}$ , с	$v = \frac{h}{t}$ , м/с
1.						
2.						
3.						

### Контрольні запитання

1. Розкажіть про рівномірний прямолінійний рух. Якими величинами він характеризується?
2. Розкажіть про рівнозмінний рух. Якими величинами він характеризується?
3. Сформулюйте основні закони динаміки поступального руху.
4. Розкажіть про призначення і будову машини Атвуда.
5. Виведіть формулу прискорення руху тягарців.

6. Як експериментально перевірити закон шляху при рівноприскореному русі?
7. Як експериментально перевірити закон шляху при рівномірному русі?

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4**

### **Визначення жорсткості пружини**

*Прилади і обладнання:* пружина, набір тягарців, штатив, лінійка

#### **Теорія методу**

У цій роботі вивчають деформацію різних пружин. Деформацією тіла називають зміну його розмірів і форми. Деформацію називають пружною, якщо після припинення дії сил, які викликають деформацію, вона зникає. У результаті деформації тіла виникає сила. Вона направлена у бік протилежний переміщенню часток тіла при деформації. Ця сила називається силою пружності. Зв'язок між силою пружності  $F$  і видовженням (деформацією)  $\Delta x$  тіла описується законом Гука

$$F = -k\Delta x, \quad (4.1)$$

де  $k$  – це коефіцієнт жорсткості тіла.

Коефіцієнт жорсткості (жорсткість) залежить від властивостей матеріалу і від розмірів деформованого тіла.

При паралельному з'єднанні пружин коефіцієнт жорсткості системи визначається за формулою:

$$k = k_1 + k_2 + \dots. \quad (4.2)$$

При послідовному з'єднанні пружин коефіцієнт жорсткості системи визначається за формулою:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \dots \quad (4.3)$$

Для вимірювання жорсткості пружини використовують установку, схема якої показана на рис. 4.1. Установка складається зі штатива 1, у верхній частині якого закріплюється пружина 3. На незакріплений кінець пружини підвішується тягарець 4 відомої маси. При цьому сила тяжіння зрівноважує силу пружності пружини. Деформація, яка виникає при цьому, вимірюється лінійкою 2.

Залежність деформуючої сили  $F$  від величини деформації  $\Delta x$  можна перевірити експериментально. Якщо змінювати масу підвішених до пружини тягарців, то можна побудувати графік залежності  $F = f(\Delta x)$ . Коефіцієнт жорсткості пружини можна визначити за його кутовим коефіцієнтом.

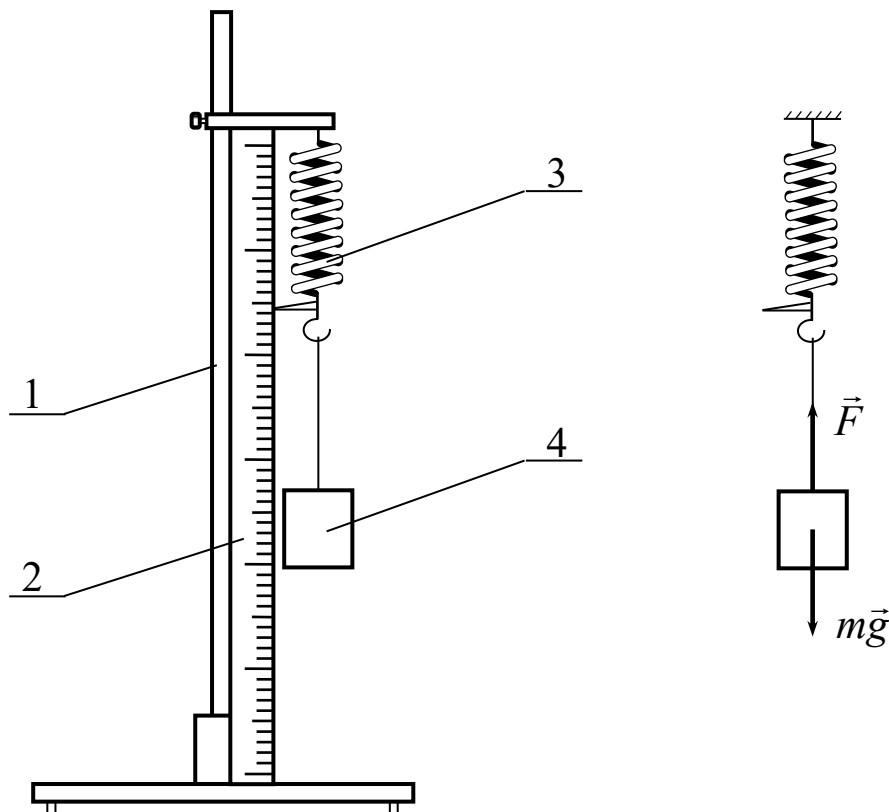


Рис. 4.1

## Порядок виконання роботи

### Завдання 1

1. Закріпити на штативі кінець пружини.
2. Поруч із пружиною закріпити лінійку з міліметровими поділками.
3. Відзначити і записати ту поділку лінійки, на яку показує стрілка-показчик пружини.
4. Підвісити до пружини тягарець відомої маси і виміряти видовження пружини.
5. До першого тягарця додати другий, третій і т.д. тягарці. Записати кожен раз видовження  $|\Delta x|$ .
6. Результати вимірів записати в таблицю 4.1.
7. За результатами вимірів побудувати графік залежності сили пружності від видовження і визначити середнє значення жорсткості пружини  $\langle k \rangle$ .

Таблиця 4.1.

<i>№ досліду</i>	<i>m, кг</i>	<i>mg, Н</i>	<i> \Delta x , м</i>	<i>k</i>	<i>\langle k \rangle</i>
1					
2					
3					

### Завдання 2

1. Відповідно до першого завдання визначити жорсткість кожної пружини.
2. За вказівкою викладача закріпити пружини на штативі паралельно або послідовно.

3. Виміряти коефіцієнт жорсткості.
4. Перевірити виконання співвідношень (4.2) і (4.3).

### Контрольні запитання

1. Що таке деформація? Яка деформація називається пружною?
2. Сформулюйте закон Гука.
3. Як визначити жорсткість пружини?
4. Чому дорівнює жорсткість системи пружин?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

### Визначення коефіцієнта тертя ковзання

*Прилади і обладнання:* дерев'яний брусок, лінійка, динамометр, похила площина.

### *Теорія методу*

Сила тертя виникає на межі прилягання тіл. Вона направлена вздовж поверхні їхнього дотику. Сила тертя ковзання визначається за формулою  $F_T = \mu N$ , де  $\mu$  – це коефіцієнт тертя.

Розглянемо рух тіла по горизонтальній поверхні (рис. 5.1):

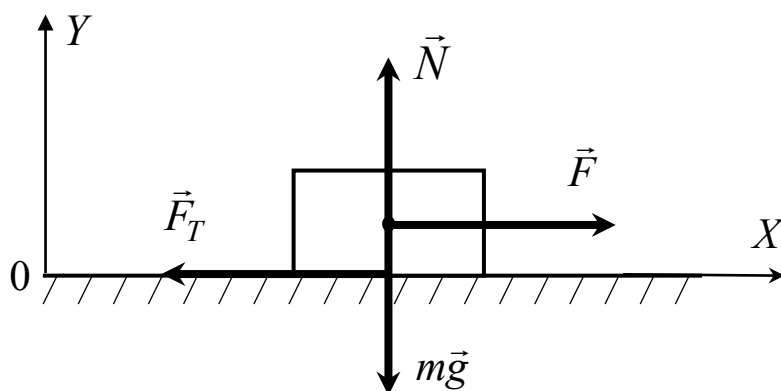


Рис. 5.1.

Запишемо II закон Ньютона у векторній формі для цього руху:

$$m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F} + \vec{F}_T = m\vec{a}.$$



Якщо тіло рухається з постійною швидкістю ( $a = 0$ ), то в проекції на вісь  $OX$ , що співпадає з напрямком руху тіла:

$$F - F_T = 0.$$

У проекції на вертикальну вісь  $OY$ :

$$N - mg = 0,$$

де  $N$  – сила нормальної реакції опори,  $m$  – маса тіла.

З записаних рівнянь одержимо:

$$F = \mu mg. \quad (5.1)$$

Якщо визначити вагу бруска, а динамометром виміряти силу, з якою необхідно тягти брусок по горизонтальній поверхні для його рівномірного руху, то з рівняння (5.1) можна визначити величину коефіцієнта тертя  $\mu$ .

Розглянемо рух тіла по похилій площині з кутом нахилу  $\alpha$ :

Запишемо для цього руху

II закон Ньютона у векторній формі:

$$m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_T = m\vec{a}.$$

В проекції на координатні осі:

$$\begin{cases} OX : mg \sin \alpha - F_T = ma \\ OY : \begin{cases} N - mg \cos \alpha = 0 \\ F_T = \mu N \end{cases} \end{cases}.$$

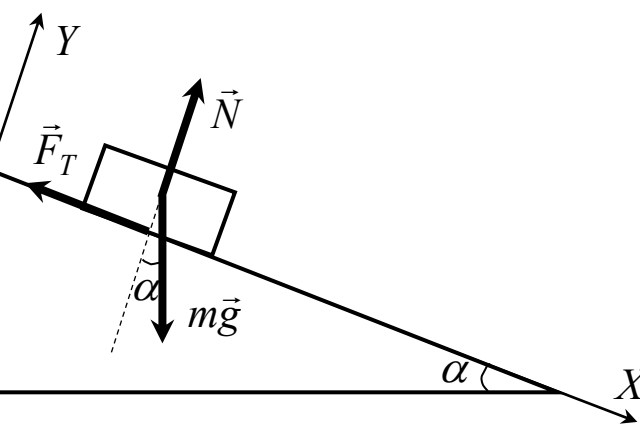
З цих рівнянь:

$$a = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha). \quad (5.2)$$

Якщо тіло зісковзує з похилої площини довжиною  $l$  з нульовою початковою швидкістю, то:

$$l = \frac{at^2}{2} \quad (v_0 = 0). \quad (5.3)$$

З формул (5.2) і (5.3) одержимо:



$$\frac{2l}{t^2} = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha). \quad (5.4)$$

Для визначення коефіцієнта тертя можна використати рівняння (5.4). Для цього потрібно за допомогою секундоміра виміряти час руху  $t$  тіла по похилій площині.

Тоді

$$\mu = \operatorname{tg} \alpha - \frac{2l}{gt^2 \cos \alpha}. \quad (5.5)$$

Порядок виконання роботи

*Завдання 1*

1. Покласти брусок відомої маси на горизонтальну площину.
2. Прикріпити до бруска динамометр. Рівномірно тягти брусок уздовж площини. Записати покази динамометра в таблицю 5.1.
3. На брусок покласти додатковий вантаж і повторити виміри за п. 2.
4. До першого тягарця додати другий, третій тягарці, при цьому кожного разу визначати їх маси та вимірювати силу тертя.
5. Результати вимірів записати в таблицю 5.1.
6. За результатами вимірів побудувати графік залежності сили тертя від сили нормальної реакції опори (враховуючи те, що в даному випадку  $N = mg$ ).
7. За формулою (5.1) визначити коефіцієнт тертя  $\mu$ .

Таблиця 5.1.

№ дослідів	$mg, H$	$F_m, H$	$\langle F_m \rangle, H$	$\mu$
1.				

2.				
3.				

### Завдання 2

1. Покласти брусок на похилу площину.
2. Коли починається рух, потрібно ввімкнути секундомір і визначити час руху бруска до основи площини.
3. Виміряти довжину основи ( $L$ ) і висоту ( $h$ ) похилої площини.
4. Результати вимірів записати в таблицю 5.2.
5. За формулою  $\mu = \frac{h}{L} - \frac{2(h^2 + L^2)}{gt^2L}$  визначити коефіцієнт тертя  $\mu$ .

Таблиця 5.2.

№ дослідів	$L$ , м	$h$ , м	$t$ , с	$\langle t \rangle$ с	$\mu$
1.					
2.					

### Контрольні запитання

1. Розкажіть про сили тертя.
2. Запишіть і поясніть II закон Ньютона.
3. Виведіть формулу для визначення коефіцієнта тертя  $\mu$ .
4. Як виміряти коефіцієнт тертя?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

### Перевірка закону збереження імпульсу при пружному зіткненні

#### двох куль

Прилади і обладнання: лабораторна установка.

#### Теорія методу

Зіткнення - це процес короткочасної взаємодії тіл, при якому сильно змінюється швидкість цих тіл. При центральному зіткненні швидкості взаємодіючих тіл спрямовані по прямій, яка з'єднує їхні центри мас.

Абсолютно пружним називається зіткнення, при якому механічна енергія системи взаємодіючих тіл зберігається.

Абсолютно непружним називається зіткнення, коли тіла після взаємодії рухаються як єдине ціле (з однаковою швидкістю).

Імпульс тіла – це векторна фізична величина, яка дорівнює добутку маси тіла на його швидкість. Імпульс системи тіл дорівнює векторній сумі імпульсів усіх тіл, що входять у цю систему. За законом збереження імпульсу: повний імпульс замкненої системи тіл залишається постійним:

$$\vec{p} = \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i = \text{const} \text{ при } \vec{I}_{\text{зовн}} = 0. \quad (6.1)$$

За законом збереження імпульсу для системи двох взаємодіючих тіл у випадку центрального пружного зіткнення, одержимо:

$$m_1 \vec{v}_{01} + m_2 \vec{v}_{02} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2. \quad (6.2)$$

Для центрального абсолютно непружного зіткнення:

$$m_1 \vec{v}_{01} + m_2 \vec{v}_{02} = (m_1 + m_2) \vec{v}, \quad (6.3)$$

де  $\vec{v}_{01}$ , – швидкості тіл безпосередньо перед зіткненням;

$\vec{v}_1$ ,  $\vec{v}_2$  – швидкості тіл після пружного зіткнення;

$\vec{v}$  – загальна швидкість тіл після абсолютно непружного зіткнення.

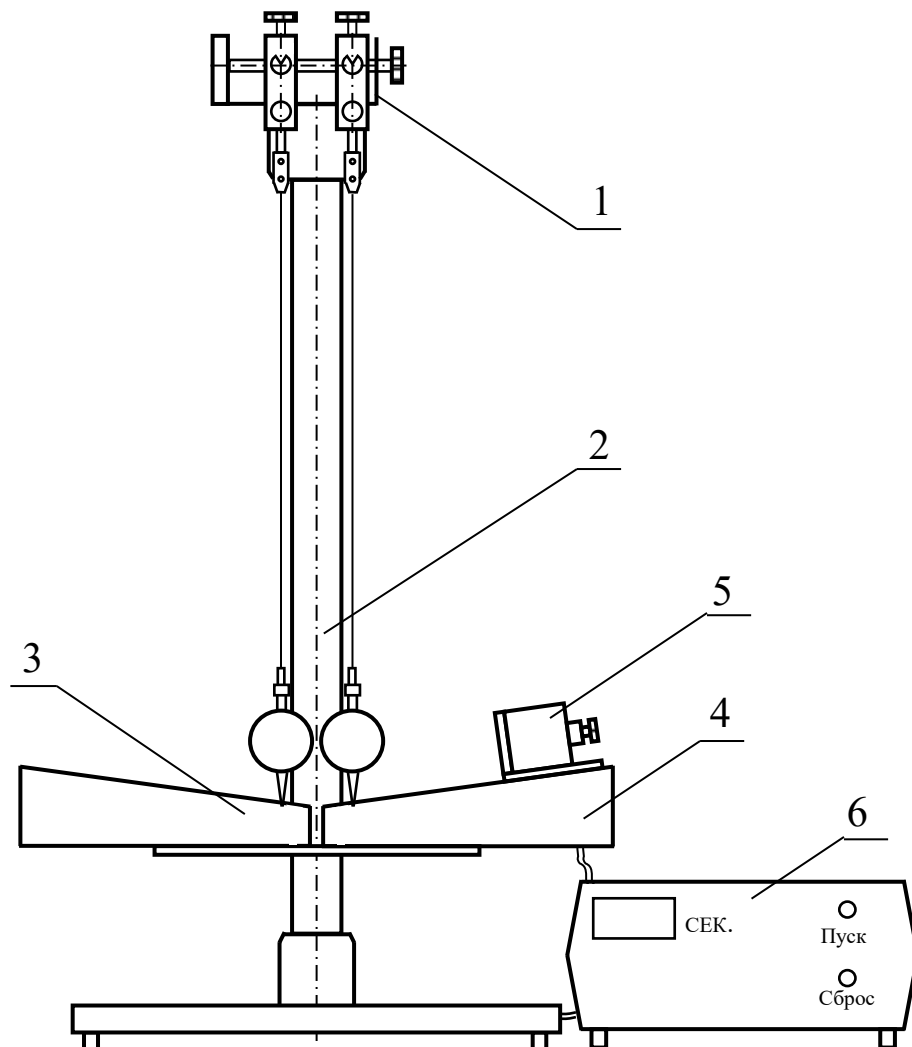


Рис. 6.1.

*1 - кронштейн; 2 - стояк; 3, 4 - шкали; 5 - електромагніт; 6 - електронний секундомір.*

У цій роботі для дослідження центрального зіткнення двох куль використовують експериментальну установку (рис. 6.1). Вона складається з вертикального стояка 2. На верхньому кінці стояка закріплені кронштейни 1. До них на струмопровідних нитках підвішені сталеві кулі. У нижній частині стояка є дві шкали 3 і 4. За ними вимірюють кути відхилення ниток: за правою – початковий кут

відхилення нитки правої кулі, а за лівою – кут відхилення нитки лівої кулі після зіткнення. На правій шкалі є електромагніт 5. Він утримує праву кулю в обраному початковому положенні. Електронний секундомір 6 потрібний для виміру часу зіткнення куль.

Швидкості куль входять у формули (6.2) і (6.3) закону збереження імпульсу. Їх можна розрахувати, нехтуючи опором повітря, через максимальну висоту підняття кулі, використовуючи закон збереження механічної енергії:

$$mgh = \frac{mv^2}{2}. \quad (6.4)$$

Якщо виразити висоту  $h$  підняття кулі через довжину  $l$  нитки підвісу та кут її відхилення від положення рівноваги  $\alpha$ , то одержимо:

$$h = l(1 - \cos \alpha) = 2l \sin^2 \frac{\alpha}{2}. \quad (6.5)$$

Враховуючи одержаний результат, формула (6.4) може бути записана так:

$$v = 2\sqrt{gl} \sin \frac{\alpha}{2}, \quad (6.6)$$

де  $v$  - швидкість кулі;  $l$  - довжина нитки підвісу;  $\alpha$  - максимальний кут відхилення нитки підвісу від положення рівноваги;  $g$  - прискорення вільного падіння.

Отриманий вираз можна використати для того, щоб експериментально визначити швидкості куль до і після зіткнення.

### Порядок виконання роботи

1. Ввімкнути установку. При цьому загоряються лампочки шкали цифрової індикації часу, а також вмикається електромагніт. Відхилити праву кулю масою  $m_1$  на кут  $\alpha_0$  до дотику з електромагнітом.

3. Натиснути клавішу "СБРОС". Повинні з'явитися нульові покази на шкалі цифрової індикації часу.

4. Натиснути клавішу "ПУСК". Коло живлення електромагніта розмикається. Права куля починає рухатися, відбувається зіткнення куль, час якого вимірюється електронним секундоміром.

5. Провести відлік кутів відхилення правої ( $\alpha_1$ ) і лівої ( $\alpha_2$ ) куль після їхнього першого зіткнення.

6. Повторити виміри за п. 2-5 не менше п'яти разів. Результати вимірів записати в таблицю 6.1.

7. Повторити виміри за п. 2-6 для іншого значення початкового кута відхилення правої кулі.

8. Після закінчення експерименту вимкнути установку.

### *Завдання 1*

#### *Перевірка закону збереження імпульсу при пружному зіткненні*

Використовуючи формулу (6.2) закону збереження імпульсу для пружного зіткнення, коли немає руху лівої кулі до зіткнення ( $\vec{v}_{02} = 0$ ), а також те, що після пружного зіткнення кулі рухаються в протилежних напрямках, одержимо:

$$m_1 v_{01} = m_2 v_2 - m_1 v_1. \quad (6.7)$$

Для перевірки закону збереження імпульсу при зіткненні треба порівняти для кожного досліду значення імпульсу системи до зіткнення  $p_0 = m_1 v_{01}$  з імпульсом системи після зіткнення  $p = m_2 v_2 - m_1 v_1$ , розрахувавши їхнє відношення:

$$\frac{p_0}{p} = \frac{m_1 v_{01}}{m_2 v_2 - m_1 v_1} = \frac{m_1 \sin \frac{\alpha_0}{2}}{m_2 \sin \frac{\alpha_2}{2} - m_1 \sin \frac{\alpha_1}{2}}.$$

Виконання умови  $\frac{p_0}{p} \approx 1$  для кожного з проведених дослідів

доводить справедливість закону збереження імпульсу.

Таблиця 6.1

№	$m_1$	$m_2$	$\alpha_0$	$\alpha_1$	$\langle \alpha_1 \rangle$	$\alpha_2$	$\langle \alpha_2 \rangle$	$\frac{p_0}{p}$
1.								
2.								
3.								

### Завдання 2

#### Визначення середньої сили взаємодії при зіткненні куль

Якщо за час зіткнення  $\Delta t$  імпульс кулі змінюється на скінчену величину  $\Delta p$ , то з основного закону динаміки ми бачимо, що:

$$F_{cp} \Delta t = \Delta p. \quad (6.8)$$

Застосовуючи формулу (6.8) для пружного зіткнення, якщо ліва куля до зіткнення не рухається, ( $\vec{v}_{02} = 0$ ), одержимо:

$$F_{12} \Delta t = -m_1(v_1 + v_{01}); F_{21} \Delta t = m_2 v_2, \quad (6.9)$$

де  $F_{12}$  і  $F_{21}$  – середні за час зіткнення значення сил взаємодії між кулями.

Враховуючи формули (6.6) і (6.7), з отриманих рівнянь одержимо:

$$|F_{12}| = |F_{21}| = \frac{2m_2 \sqrt{gl} \sin \frac{\alpha_2}{2}}{\Delta t}. \quad (6.9)$$



Час зіткнення  $\Delta t$  куль виміряється електронним секундоміром. Усі результати вимірів записуються в таблицю 6.2.

Таблиця 6.2

№ досліджу	$m_1$	$m_2$	$\alpha_0$	$\alpha_2$	$\langle \alpha_2 \rangle$	$\Delta t$	$\langle \Delta t \rangle$	$F$
1.								
2.								
3.								

*Контрольні запитання*

1. Що таке імпульс тіла і системи тіл? Сформулюйте закон збереження імпульсу.
2. Що таке абсолютно пружний і абсолютно непружний зіткнення?
3. Запишіть закон збереження імпульсу для: а) пружного центрального зіткнення двох куль; б) непружного центрального зіткнення двох куль.
4. Запишіть закон збереження механічної енергії для абсолютно пружного центрального зіткнення двох куль.
5. Сформулюйте і запишіть основний закон динаміки.
6. Виведіть формулу для розрахунку швидкості куль.
7. Виведіть формулу для розрахунку середньої сили взаємодії куль при абсолютно пружному зіткненні.
8. Як експериментально перевірити закон збереження імпульсу при пружному зіткненні?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

### Перевірка закону Бойля-Маріотта

*Прилади і обладнання:* термометр, установка для вивчення закону Бойля-Маріотта.

#### Теорія методу

Стан ідеального газу описується рівнянням Менделєєва-Клапейрона

$$pV = \frac{m}{M}RT, \quad (7.1)$$

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

Ізопроеес – це процес, при якому маса газу ( $m$ ) і один із параметрів стану газу ( $p$ ,  $V$ ,  $T$ ) не змінюються. Ізотермічний процес – це процес, коли змінюється стан ідеального газу при постійних температурі ( $T = const$ ) і масі ( $m = const$ ).

З рівняння (4.1) стану ідеального газу випливає, що при постійній температурі  $T$  і незмінній кількості речовини  $\nu$  у посудині добуток тиску  $p$  газу на його об'єм  $V$  буде постійним.

$p \cdot V = const$  – це закон Бойля-Маріотта

Графік ізотермічного процесу показаний на рис. 7.1.

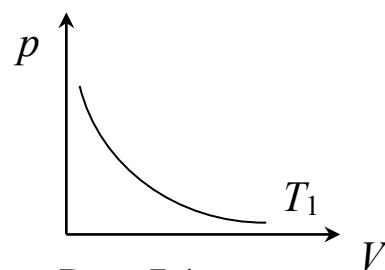


Рис. 7.1.

Якщо в посудині об'ємом  $V$  знаходиться газ масою  $m$  під тиском  $p_1$  і при температурі  $T$ , то рівняння стану (4.1) для цього газу має вигляд:

$$p_1V = \frac{m}{M}RT, \quad (7.2)$$

Змінимо об'єм газу, не змінюючи його температури. Після цього тиск газу збільшується. Запишемо рівняння стану:

$$(7.3)$$

З рівнянь (7.2) і (7.3) одержуємо:

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

або

$$\frac{p_1 V_1}{p_2 V_2} = 1. \quad (7.4)$$

Рівняння (7.4) використовують для експериментальної перевірки закону Бойля-Маріотта.

Експериментальна установка для перевірки закону Бойля-Маріотта (рис. 7.2) складається з герметично закритої гофрованої посудини 2. Вона з'єднана з манометром 4. При обертанні гвинта 3 об'єм посудини змінюється. Висоту посудини вимірюють за допомогою лінійки 1. Температура газу виміряється термометром 5.

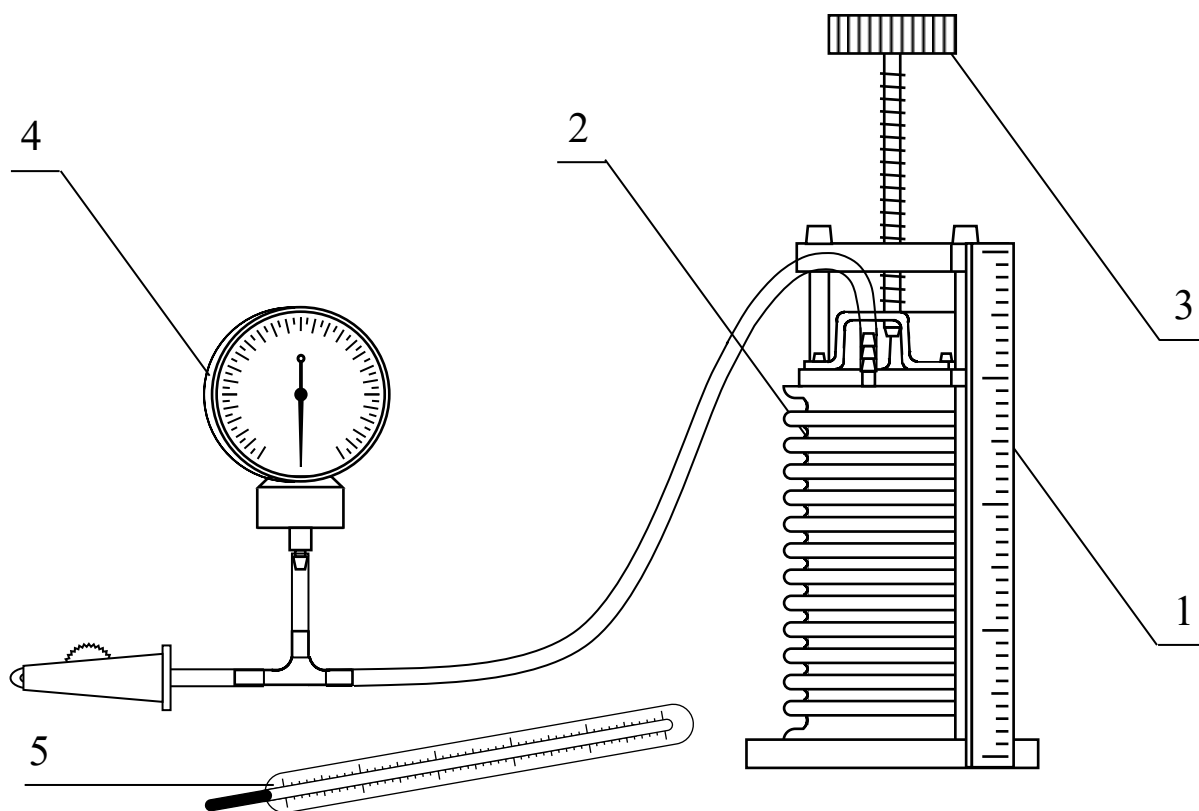


Рис. 7.2.

### Порядок виконання роботи

1. Виміряти температуру повітря в лабораторії.
2. Змінити об'єм посудини і записати покази манометра та висоту циліндра в таблицю 7.1.
3. Повторити виміри за п. 2 для іншого об'єму.
4. Використовуючи формулу (7.4) перевірити закон Бойля-Маріотта.

Таблицю 7.1.

№ досліджу	$p_1,$ Па	$p_2,$ Па	$h_1,$ м	$h_2,$ м	$V_1,$ м <sup>3</sup>	$V_2,$ м <sup>3</sup>	$\frac{p_1 V_1}{p_2 V_2}$
1.							
2.							
3.							

### Контрольні запитання

1. Запишіть і поясніть рівняння Менделєєва-Клапейрона.
2. Що таке молярна маса речовини і у яких одиницях вона вимірюється?
3. Розкажіть про ізопроцеси у газах.
4. Виведіть формулу для експериментальної перевірки закону Бойля-Маріотта.

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8**

### **Визначення теплоємності твердих тіл**

*Прилади і обладнання:* лабораторна установка.

#### **Теорія методу**

Теплоємністю тіла називають величину, рівну кількості теплоти яку необхідно надати тілу для підвищення його температури на один

кельвін. Якщо при передачі тілу кількості теплоти  $\Delta Q$  температура тіла підвищується на  $\Delta T$ , тоді теплоємність:

$$C_T = \frac{\Delta Q}{\Delta T}. \quad (8.1)$$

Теплоємність одиниці маси речовини називається питомою теплоємністю:

$$c = \frac{C_T}{m} = \frac{\Delta Q}{m\Delta T}. \quad (8.2)$$

Щоб експериментально визначити теплоємність досліджуваного тіла, його поміщають у калориметр, який нагрівається електричним струмом. Якщо температуру калориметра з досліджуваним зразком повільно збільшити від початкової  $t_0$  на  $\Delta T$ , тоді енергія електричного струму піде на нагрівання зразка і калориметра:

$$IU\tau = C_0\Delta T + mc\Delta T + \Delta Q, \quad (8.3)$$

де  $I$  і  $U$  – струм і напруга нагрівача;  $\tau$  – час нагрівання;  $m_0$  і  $m$  – маси калориметра і досліджуваного зразка;  $C_0$  – теплоємність калориметра і  $c$  – питома теплоємність досліджуваного зразка;  $\Delta Q$  – втрати теплоти в теплоізоляцію калориметра і у навколишнє середовище .

Щоб вимкнути з рівняння (8.3) кількість теплоти, яка йде на нагрівання калориметра і втрати теплоти в навколишньому просторі, треба при тій же потужності нагрівача нагріти порожній калориметр (без зразка) від початкової температури  $t_0$  на таку саму різницю температур  $\Delta T$ . Втрата тепла в обох випадках буде практично однаковою і досить малою якщо температура захисного кожуха калориметра в першому і другому випадках постійна і дорівнює кімнатній. Тоді:

$$IU\tau_0 = C_0\Delta T + \Delta Q_0. \quad (8.4)$$

З рівнянь (8.3) і (8.4) за умови, що  $\Delta Q = \Delta Q_0$ , випливає

$$IU(\tau - \tau_0) = mc\Delta T, \quad (8.5)$$

де  $\tau - \tau_0$  – різниця часів нагрівання на  $\Delta T$  калориметра зі зразком і без зразка.

З рівняння (8.5) одержуємо:

$$c = \frac{IU(\tau - \tau_0)}{m\Delta T}. \quad (8.6)$$

Рівняння (8.6) може бути використане для експериментального визначення питомої теплоємності досліджуваних зразків з використанням експериментальної установки, загальний вигляд якої показаний на рис. 8.1.

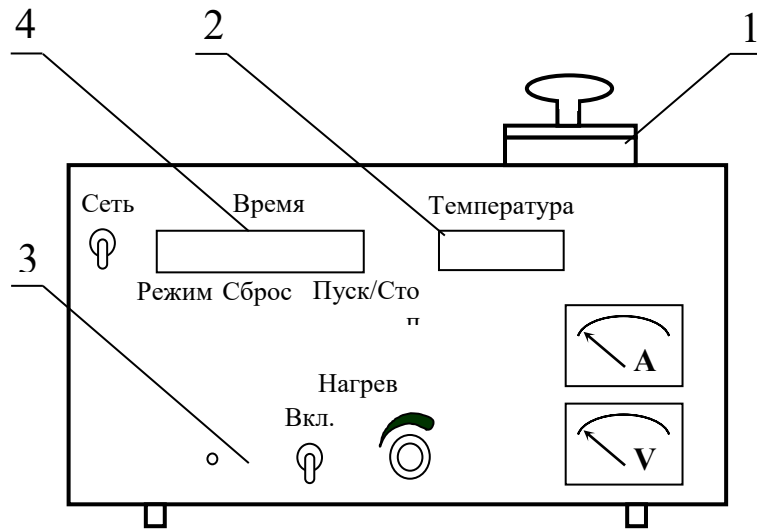


Рис. 8.1.

*1 – калориметр; 2 – індикатор температури; 3 – блок живлення нагрівача; 4 – електронний секундомір.*

Нагрівання досліджуваних зразків відбувається в калориметрі. Калориметр складається з латунного корпусу всередині якого є конічна порожнина для розміщення дослідного зразка. В його корпусі, що теплоізолюваний шарами азбесту і скловолокна та

закритий алюмінієвим кожухом, розташована нагрівальна спіраль. Калориметр закривається теплоізолюваною кришкою. Температура калориметра вимірюється напівпровідниковим термометром, датчик якого знаходиться в корпусі калориметра і реєструється на цифровому індикаторі "ТЕМПЕРАТУРА" блоку приладів. У цьому блоці знаходиться також джерело живлення нагрівача. Його потужність встановлюється регулятором "НАГРЕВ.". Напруга і струм у колі нагрівача вимірюються вольтметром і амперметром, які знаходяться на передній панелі блоку приладів.

Час нагрівання калориметра вимірюється секундоміром, який розміщується в блоці приладів, і приводиться в дію при вмиканні напруги живлення цього блоку. Час реєструється на цифровому індикаторі "ВРЕМЯ", покази якого обнуляються при натисканні кнопки "СТОП". Коли кнопку відпускаємо, знову починається відлік часу.

Для досліджень використовують зразки, на торцевій поверхні яких нанесене маркування маси. Коли нагрівання порожнього калориметра закінчене, для його прискореного охолодження можуть бути використані інші зразки, які послідовно поміщаються в калориметр.

### Порядок виконання роботи

1. Ввімкнути установку.
2. Щільно закрити кришку порожнього калориметра. Ввімкнути тумблером електричний нагрівач і встановити регулятор потужності в положення "4" чи "5". Значення струму і напруги нагрівача записати в звіт до лабораторної роботи (таблицю 8.1).

3. При підвищенні температури калориметра на 5 К вище кімнатної ввімкнути секундомір. Зробити 5-7 вимірів часу нагрівання порожнього калориметра  $\tau_0$  через інтервал температури 1 К. Показання приладів записати в таблицю 8.1.

4. Вимкнути нагрівач і охолодити калориметр до початкової температури  $T_0$ . Для швидкого охолодження калориметра треба відкрити кришку і поміщати в нього зразки без маркувань маси.

5. Зняти кришку з калориметра. Помістити в нього один з досліджуваних зразків, який вкаже викладач. Щільно закрити кришку калориметра і почекати три хвилини до вирівнювання температур калориметра і зразка.

6. Ввімкнути нагрівач калориметра, встановивши те ж значення напруги в колі, що і при нагріванні порожнього калориметра.

7. Ввімкнути секундомір при тій же початковій температурі  $T_0$ . Зробити 5-7 вимірів часу  $\tau$  нагрівання калориметра зі зразком через інтервал температури 1 К. Показання секундоміра записати в таблицю 8.1.

8. Вимкнути нагрівач. Відкрити кришку калориметра і вийняти зразок.

9. Вимкнути установку тумблером "СЕТЬ".

10. За формулою (8.6) обчислити питому теплоємність зразка для кожного досліджу.

Таблиця 8.1.

№ досліджу	$U,$ В	$I,$ А	$\Delta T,$ К	$\tau_0,$ с	$\tau,$ с	$\tau - \tau_0,$ с	$C,$ Дж/(К·кг)
1.							
2.							
3.							



### Контрольні запитання

1. Що називається теплоємністю і питомою теплоємністю речовини? В яких одиницях їх вимірюють?
2. Розкажіть про закон збереження енергії в теплових процесах.
3. Розкажіть про рівняння теплового балансу. Для чого воно використовується?
4. Розкажіть про метод електричного нагрівання для визначення теплоємності твердих тіл?
5. Виведіть формулу для експериментального визначення теплоємності.
6. Чому, коли ви робите експеримент, нагрівання порожнього калориметра зі зразком треба проводити при одній і тій же потужності, що підведена до нагрівача?
7. Чому після нагрівання порожнього калориметра його треба охолодити до початкової температури?

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9**

### **Визначення питомого опору провідника**

*Прилади і обладнання:* блок живлення, амперметр, вольтметр, реохорд, реостат, з'єднувальні проводи.

#### **Теорія методу**

Однією з характеристик електричних властивостей ділянки електричного кола є його електричний опір. Одиниця опору (1 Ом) – це опір такого провідника, по якому проходить струм в 1 А при різниці потенціалів на кінцях провідника в 1 В. Опір провідника залежить від його геометричної форми і розмірів, а також від

матеріалу провідника. Для однорідного циліндричного провідника довжиною  $l$  і площею поперечного перерізу  $S$  опір дорівнює:

$$R = \rho \frac{l}{S}. \quad (9.1)$$

Величина  $\rho$ , що входить у формулу (9.1), називається питомим опором провідника. Це опір такого провідника, що має одиничну довжину і одиничну площу поперечного перерізу. У системі "СІ" одиницею питомого опору є *Ом·м*. При відомих геометричних розмірах провідника, його питомий опір можна визначити, якщо виміряти значення електричного опору. З формули (9.1) випливає:

$$\rho = R \frac{S}{l}. \quad (9.2)$$

Величину опору провідника  $R$  можна визначити за законом Ома для однорідної ділянки кола.

$$R = \frac{U}{I}. \quad (9.3)$$

Для вимірювання електричного опору провідників використовується експериментальна установка, електрична схем якої показана на рис. 9.1.

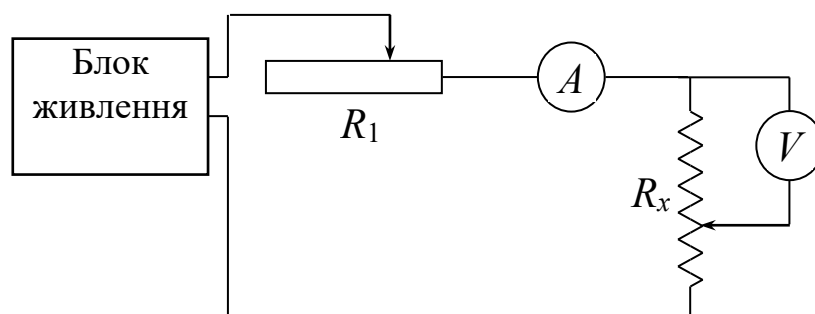


Рис. 9.1

### Порядок виконання роботи

1. Зібрати електричне коло за схемою, зображеної на рис. 9.1.
2. Замкнути коло і встановити такий робочий струм, щоб покази вольтметра були приблизно рівними  $2/3$  вимірювального діапазону.

3. Записати значення сили струму і напруги в таблицю 9.1.

4. Повторити виміри за п. 2 для 3-5 значень довжини ділянки провідника, питомий опір якого ми вимірюємо.

5. Штангенциркулем виміряти в різних місцях діаметр провідника не менше 6 разів. Знайти середнє значення  $\langle d \rangle$ .

6. За формулою  $\rho = \frac{\pi \langle d \rangle^2 U}{4lI}$  підрахувати значення питомого опору для кожного досліду.

$$\langle d \rangle =$$

Таблиця 9.1

№ досліду	$l$ , $м$	$U$ , $В$	$I$ , $мА$	$\rho$ , $Ом \cdot м$
1.				
2.				
3.				

Контрольні запитання

1. Запишіть закон Ома для однорідної ділянки електричного кола. Розкажіть про електричний опір такої ділянки.

2. Що називається питомим опором провідника? У яких одиницях вимірюється ця величина?

3. Розкажіть про паралельне і послідовне з'єднання провідників.

4. Розкажіть про розширення меж вимірів електровимірювальних приладів. Що таке шунт і додатковий опір, як вони підключаються до приладів?

5. Розкажіть про метод експериментального визначення питомого опору провідників.

6. Від чого залежить точність вимірювання опору за схемою рис. 9.1.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10

### Визначення ЕРС і внутрішнього опору джерела струму.

Прилади і обладнання: джерело струму (батарея або акумулятор), реостат, постійний опір, амперметр, вольтметр, з'єднувальні проводи.

#### Теорія методу

Джерелом струму називається пристрій, у якому відбувається початковий розподіл сторонніми силами різнойменних зарядів в електричному колі. Основною характеристикою джерела струму є електрорушійна сила (ЕРС). ЕРС – це фізична величина, яка дорівнює роботі сторонніх сил по переміщенню одиничного точкового заряду в електричному колі. ЕРС визначає силу струму в замкненому електричному колі.

Силу струму в замкненому електричному колі можна визначити за законом Ома:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}, \quad (10.1)$$

де  $\mathcal{E}$  – ЕРС джерела струму,  $r$  – внутрішній опір джерела струму,  $R$  – опір зовнішнього кола.

Для визначення ЕРС і внутрішнього опору джерела струму, ми збираємо електричне коло (рис. 10.1).

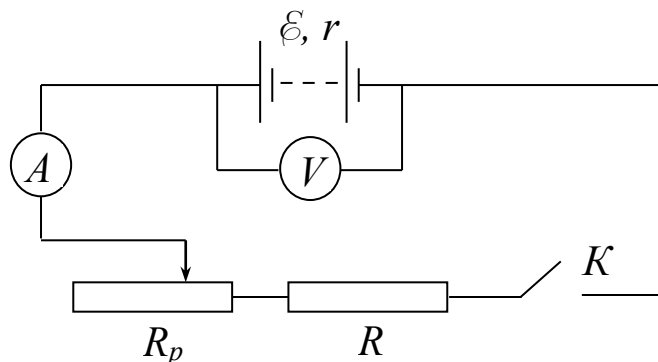


Рис. 10.1.

Якщо для двох відомих значень опору зовнішнього кола  $R_1$  і  $R_2$  виміряти відповідні їм значення сили струму  $I_1$  і  $I_2$ , то одержимо:

$$\begin{cases} R_1 + r = \frac{\mathcal{E}}{I_1} \\ R_2 + r = \frac{\mathcal{E}}{I_2} \end{cases}$$

Після розв'язування цієї системи рівнянь, визначаємо величину ЕРС:

$$\mathcal{E} = \frac{I_1 I_2 (R_2 - R_1)}{I_1 - I_2}. \quad (10.2)$$

Якщо значення опорів  $R_1$  і  $R_2$  точно визначити не можна, то для визначення ЕРС джерела струму потрібно для кожного випадку виміряти також і спад напруги на зовнішній ділянці кола  $U_1$  і  $U_2$ . Тоді використовуючи закон Ома для однорідної ділянки кола і замкнутого кола, одержимо:

$$\begin{cases} \frac{U_1}{I_1} + r = \frac{\mathcal{E}}{I_1} \\ \frac{U_2}{I_2} + r = \frac{\mathcal{E}}{I_2} \end{cases} \quad (10.3)$$

Після розв'язування системи рівнянь (10.3) одержимо:

$$\mathcal{E} = \frac{U_2 I_1 - U_1 I_2}{I_1 - I_2}. \quad (10.4)$$

Розв'язуючи систему рівнянь (10.3) відносно  $r$ , визначаємо внутрішній опір джерела струму:

$$r = \frac{U_2 - U_1}{I_1 - I_2}. \quad (10.5)$$

### Порядок виконання роботи

1. Зібрати коло за схемою, зображеною на рис. 10.1.
2. Замкнути коло і встановити повзунок реостата в положення максимального опору.
3. Записати значення сили струму і напруги в таблицю 10.1.
4. Повторити виміри сили струму і напруги при іншому опорі зовнішньої ділянки кола.
5. Обчислити внутрішній опір джерела струму і ЕРС, враховуючи, що  $R_1 = R$ , а  $R_2 = R_p + R$ .

Таблиця 10.1

№	Сила струму $I, A$	Напруга $U, B$	ЕРС $\mathcal{E}$ , $B$	Внутрішній опір джерела струму $r$ , $Om$
1.				
2.				
3.				

### Контрольні запитання

1. Що таке ЕРС? У яких одиницях вона вимірюється?
2. Сформулюйте закон Ома для однорідної ділянки кола і для замкнутого кола.
3. Виведіть формули для визначення ЕРС і внутрішнього опору джерела струму.
4. Від чого залежить точність вимірювання за схемою рис. 10.1.

## Лабораторна робота №11

### Визначення ЕРС джерела струму методом компенсації

Прилади і обладнання: джерело струму, гальванометр, елемент з відомою ЕРС, досліджуване джерело ЕРС, перемикач, реостат, амперметр, вольтметр, реохорд, з'єднувальні проводи.

#### Теорія методу

Відповідно до закону Ома для повного кола:

$$\mathcal{E} = U + Ir, \quad (11.1)$$

де  $\mathcal{E}$  – ЕРС,  $I$  – величина струму в колі,  $r$  – внутрішній опір джерела струму,  $U$  – напруга на полюсах джерела струму.

З формули (11.1) видно, що звичайні вольтметри не можна використовувати для точного визначення ЕРС тому, що в таких вимірах невідомим є спад напруги на внутрішньому опорі джерела струму. Метод компенсації дозволяє усунути цей недолік, тому що,

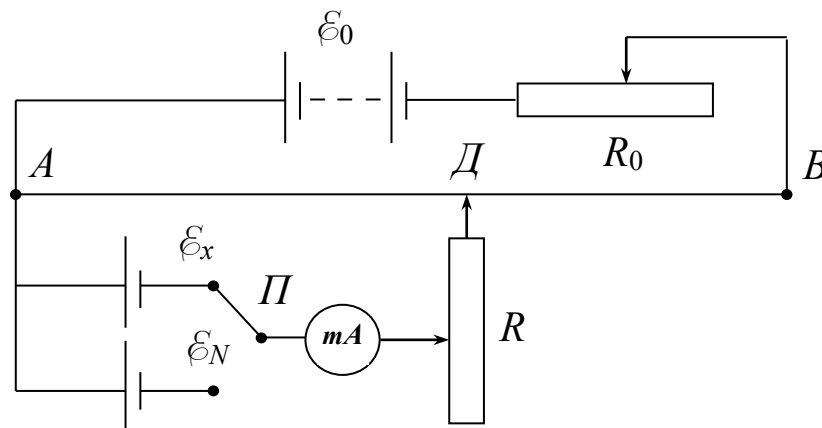


Рис. 11.1.

при вимірі ЕРС цим методом, струм через досліджуване джерело дорівнює нулю. Принцип цього методу, схема якого показана на рис. 11.1, полягає в тому, що два джерела ЕРС  $\mathcal{E}_0$  і  $\mathcal{E}_x$  вмикають назустріч одне одному і домагаються компенсації ЕРС  $\mathcal{E}_x$  падінням потенціалу між точками  $A$  і  $D$ .

Допоміжне джерело струму підтримує постійний струм у колі реохорда  $AB$ . Його ЕРС  $\mathcal{E}_0$  перевищує ЕРС досліджуваного елемента  $\mathcal{E}_x$ . Досліджуване джерело ЕРС  $\mathcal{E}_x$  одним полюсом приєднане до точки  $A$ , а іншим – через міліамперметр  $mA$  і резистор  $R$  – до повзунка реохорда  $D$ . Якщо записати рівняння II закону Кирхгофа для контуру  $AD$   $\mathcal{E}_x$  і врахувати, що при виконанні умови компенсації  $I_x = 0$ , то одержимо:

$$\mathcal{E}_x = I_p R_x, \quad (11.2)$$

де  $R_x$  – опір ділянки  $AD$  реохорда, що визначається положенням повзунка в момент компенсації,  $I_p$  – сила струму через реохорд.

Якщо тепер замість джерела  $\mathcal{E}_x$  підключити еталонне джерело ЕРС  $E_N$  з відомим значенням ЕРС і знову виконати умову компенсації, то:

$$\mathcal{E}_N = I_p R_N. \quad (11.3)$$

З одержаних рівнянь:

$$\mathcal{E}_x = \mathcal{E}_N \frac{R_x}{R_N} = \mathcal{E}_N \frac{l_x}{l_N}, \quad (11.4)$$

де  $l_x, l$  – довжина ділянки  $AD$  реохорда при компенсації ЕРС одного з джерел струму ( $\mathcal{E}_x$  чи  $\mathcal{E}_N$ ).

Змінний резистор  $R$  використовується для обмеження струму через вимірювальний прилад  $mA$  при проведенні експерименту.

#### Порядок виконання роботи

1. Зібрати робочу схему, зображену на рис. 11.1.
2. Підключити джерело струму  $\mathcal{E}_x$  і домогтися виконання умови компенсації. Для цього потрібно переміщувати повзунок ковзного контакту  $D$  реохорда. Величину  $l_x$  записати в таблицю 11.1.
3. Повторити виміри п. 2 2–3 рази.



4. Підключити джерело струму  $\mathcal{E}_N$  і виконати виміри за п. 2–3.

5. Для кожного досліду за формулою (11.4) обчислити значення ЕРС.

Таблиця 11.1

№ дослід	$l_x$ , мм	$l$ , мм	$\mathcal{E}_N$ , В	$\mathcal{E}_x$ , В
1.				
2.				
3.				

### Контрольні запитання

1. Що таке ЕРС? У яких одиницях вона вимірюється?
2. Сформулюйте закон Ома для однорідної ділянки кола і для замкнутого кола.
3. Виведіть формули для визначення ЕРС і внутрішнього опору джерела струму.
4. Розкажіть про метод компенсації для визначення ЕРС джерела струму.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 12

### Визначення коефіцієнта корисної дії нагрівача

*Прилади і обладнання:* блок живлення, амперметр, вольтметр, калориметр, реостат, з'єднувальні проводи.

### Теорія методу

При роботі кожного нагрівача завжди є втрати теплоти в навколишнє середовище. Отже, енергія, що виділяється в електричному нагрівачі при протіканні струму (витрачена теплова енергія  $Q_3$ ), йде на нагрівання речовини, що знаходиться в тиглі нагрівача (корисна теплова енергія  $Q_p$ ), і на втрати теплоти. Число, що показує, яку частину усієї витраченої енергії складає корисна

енергія, називається коефіцієнтом корисної дії нагрівача:

$$\eta = \frac{Q_n}{Q_3} \cdot 100\%. \quad (12.1)$$

У цій роботі нагрівач використовується для нагрівання води. Вона знаходиться в посудині калориметра експериментальної установки, схема якої показана на рис. 12.1.

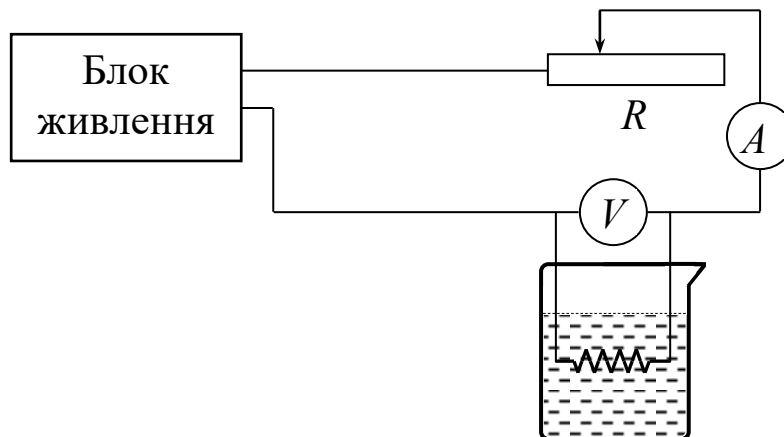


Рис. 12.1

Температура води в посудині вимірюється термометром. У посудині знаходиться електричний нагрівач. Його потужність встановлюється регулятором напруги, що розташований на передній панелі блоку живлення. Напруга і струм у колі нагрівача вимірюються вольтметром і амперметром.

Час нагрівання води вимірюється секундоміром.

Якщо посудину з водою нагріти від початкової температури  $T_0$  до температури кипіння води  $T_k$  ( $\Delta T = T_k - T_0$ ) за час  $\tau_1$ , а потім випарувати частину води в посудині за час  $\tau_2$ , то к.к.д. нагрівача (при постійній потужності) можна визначити за будь-яким з виразів:

$$\eta = \frac{mc\Delta T}{IU\tau_1} = \frac{m_2r}{IU\tau_2} = \frac{mc\Delta T + m_2r}{IU(\tau_1 + \tau_2)}, \quad (12.2)$$

де  $I$ ,  $U$  – струм і напруга нагрівача,  $m$  – початкова маса води,  $c$  – питома теплоємність води,  $r$  – питома теплота пароутворення води,

$m_2$  – маса води, що випарувалася.

### Порядок виконання роботи

1. Виміряти масу води.
2. Ввімкнути установку і виміряти початкову температуру у посудині з водою.
3. Одночасно ввімкнути електричний нагрівач і відлік часу секундоміра. Через кожну хвилину треба вимірювати температуру води, поки вона не досягне постійного значення  $T$ . **Увага!** Нагрівання повинне відбуватися при постійній потужності нагрівача. Значення струму і напруги нагрівача треба записати в звіт до лабораторної роботи. За результатами вимірів побудувати графік залежності температури від часу  $T=f(\tau)$ .
4. Вимкнути експериментальну установку.
5. За однією з формул (12.2), (за вказівкою викладача), обчислити коефіцієнт корисної дії нагрівача.

### Контрольні запитання

1. Що називається коефіцієнтом корисної дії нагрівача?
2. Що називається питомою теплоємністю речовини? У яких одиницях вона вимірюється?
3. Що називається питомою теплотою пароутворення? У яких одиницях вона вимірюється?
4. Розкажіть про закон збереження енергії в теплових процесах.
5. Як підрахувати потужність, яку споживає нагрівач? У яких одиницях її вимірюють?
6. Як експериментально визначити коефіцієнт корисної дії нагрівача?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 13

### Визначення прискорення вільного падіння за допомогою математичного маятника

Прилади і обладнання: лабораторна установка.

#### Теорія методу

Математичним маятником називається матеріальна точка підвішена на невагомій і нерозтяжній довгій нитці. Він здійснює коливання у вертикальній площині під дією сили тяжіння. Математичним маятником можна вважати невелику важку кульку, що підвішена на довгій тонкій нитці.

Якщо кут відхилення від положення рівноваги невеликий і тертя нехтовно мале, то математичний маятник здійснює гармонічні коливання. Їх період визначається довжиною  $l$  маятника і прискоренням вільного падіння  $g$ :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}. \quad (13.1)$$

З формули (13.1) випливає:

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}. \quad (13.2)$$

Експериментально визначити прискорення вільного падіння після вимірів довжини маятника  $l$  і періоду коливань  $T$ , можна за формулою (13.2). Величину періоду коливань можна обчислити вимірюючи час  $t$ , за який маятник робить  $n$  повних коливань:

$$T = \frac{t}{n}. \quad (13.3)$$

У цій роботі для визначення прискорення вільного падіння використовується експериментальна установка, загальний вигляд якої показаний на рис. 13.1. Вона складається з вертикального стояка 4, на

верхньому кінці якого закріплений кронштейн. До нього на подвійній нитці підвішена сталева кулька, радіус якої  $r$  набагато менший довжини  $L$  нитки підвісу ( $r \ll L$ ). Довжину  $l$  такого математичного маятника  $l = L + r$  можна регулювати гвинтом 5, а її величину визначати за шкалою 3, яка нанесена на стояк установки. Вздовж стояка можна переміщувати і фіксувати на будь-якому рівні рухомий кронштейн, на якому розміщений фотоелектричний датчик 2. Він подає сигнал на цифровий мілісекундомір і лічильник періодів коливань, який змонтований на передній панелі блоку 1.

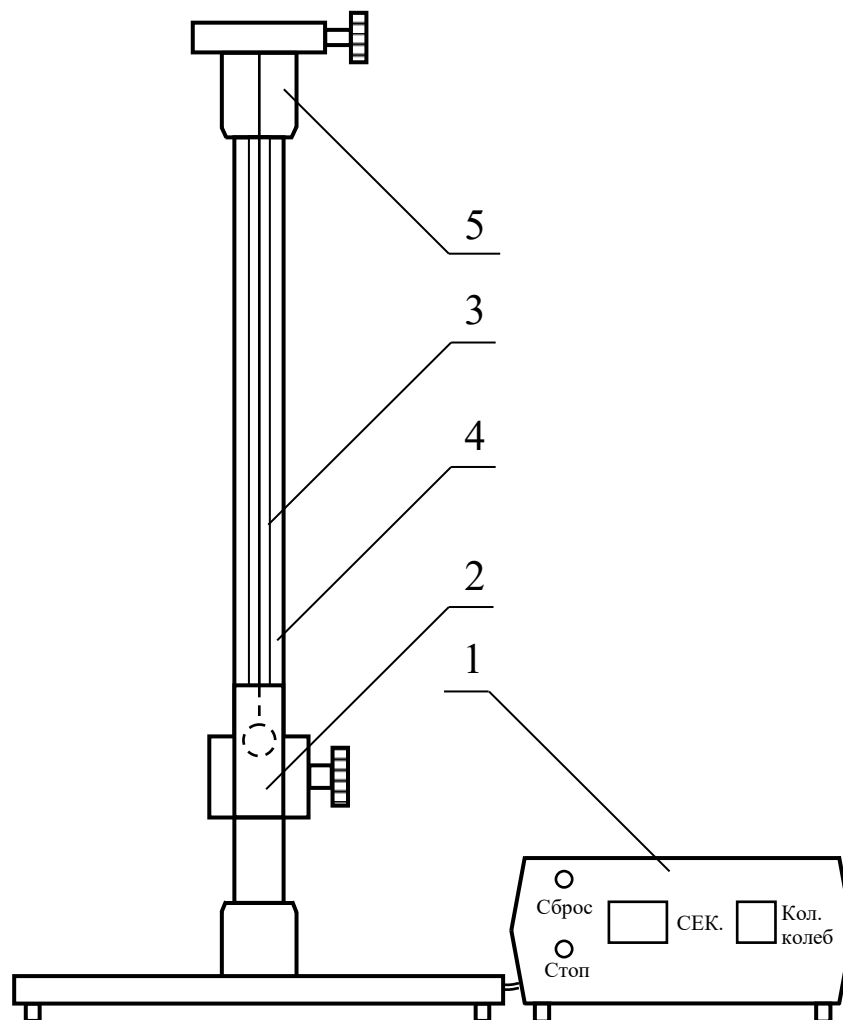


Рис. 13.1.

Порядок виконання роботи

1. Ввімкнути установку.

2. Встановити кронштейн із фотодатчиком у нижній частині стояка. Гвинтом відрегулювати довжину нитки маятника так, щоб мітка на кульці збіглася з положенням оптичної осі фотоелектричного датчика.

3. Вивести маятник з положення рівноваги (відхилити його на кут  $4-5^\circ$  від цього положення рівноваги) і відпустити.

4. Натиснути клавішу "СБРОС". Коли маятник перший раз буде проходити положення рівноваги, почнеться відлік часу і числа повних коливань маятника.

5. Щоб зупинити відлік часу, треба натиснути клавішу "СТОП" у той момент, коли лічильник числа коливань покаже число  $n - 1 = 49$ . У цьому випадку рахунок часу припиниться після  $n = 50$  повних коливань. Час  $t$  п'ятдесятьох повних коливань маятника і його довжину  $l$  записати в таблицю 13.1.

6. Повторити виміри за п. 3-5 три рази.

7. Повторити виміри за п. 3-6 для трьох значень довжини маятника (за вказівкою викладача). Після закінчення експерименту вимкнути установку.

8. Для кожного виміру визначити за формулою (13.3) період коливань математичного маятника.

9. За формулою (13.2) для кожного значення довжини маятника визначити прискорення вільного падіння  $g$ .

Таблиця 13.1

№ дослідів	$l, m$	$t, c$	$T, c$	$\langle T \rangle, c$	$g, m/c^2$
1.					

№ дослідю	$l,$ $м$	$t,$ $с$	$T,$ $с$	$\langle T \rangle,$ $с$	$g,$ $м/с^2$
2.					
3.					

### Контрольні запитання

1. Розкажіть про гармонічні коливання. Які характеристики гармонічних коливань ви знаєте?
2. Що таке математичний маятник? Від чого залежить період коливань математичного маятника?
3. Як експериментально визначити прискорення вільного падіння за допомогою математичного маятника?
4. Розкажіть про перетворення енергії при гармонічних коливаннях.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 14

### Визначення швидкості звукової хвилі в повітрі резонансним методом

*Прилади і обладнання:* лабораторна установка.

#### Теорія методу

Хвилею називається процес поширення коливань у середовищі. Відстань, що проходить хвиля за період коливань  $T$  генератора, називається довжиною хвилі  $\lambda$ .

$$\lambda = v \cdot T, \quad (14.1)$$

де  $v$  – швидкість поширення хвилі.

Для визначення швидкості звуку в повітрі при даній температурі, можна використовувати явище акустичного резонансу. Якщо в закритій трубі поширюється звукова хвиля, то в стовпі повітря, що знаходиться в цій трубі, виникнуть звукові коливання. Це результат накладення хвиль, що були багато разів відбиті від торців труби. Якщо довжина труби  $L$  дорівнює цілому числу напівхвиль  $L = \frac{n \cdot \lambda}{2}$  ( $n$  – будь-яке ціле число,  $\lambda$  – довжина хвилі), то хвиля, що відбивається від торця труби, повертається до її початку і знову відбиваючись, збігається по фазі з хвилею, що падає. Хвилі, що збігаються по фазі, підсилюють одна одну. Амплітуда коливань при цьому різко зростає – встановлюється резонанс. При цьому шари газу, що прилягають до торців труби, не підлягають зсуву. У цих місцях утворюються вузли зсуву. Вони повторюються через  $\frac{\lambda}{2}$  по всій довжині труби. Між вузлами знаходяться максимуми зсуву – пучності.

З урахуванням співвідношення (14.1) умова резонансу може бути записана так:

$$2Lv_0 = n \cdot v, \quad (14.2)$$

де  $v_0$  – резонансна частота.

Залежність (14.2) резонансної частоти  $v_0$  від номера резонансу можна перевірити експериментально. Якщо змінювати частоту коливань при постійній довжині труби, то можна побудувати графік залежності  $v_0 = f(n)$ . Його лінійність доводить, що співвідношення (14.2) справедливе.



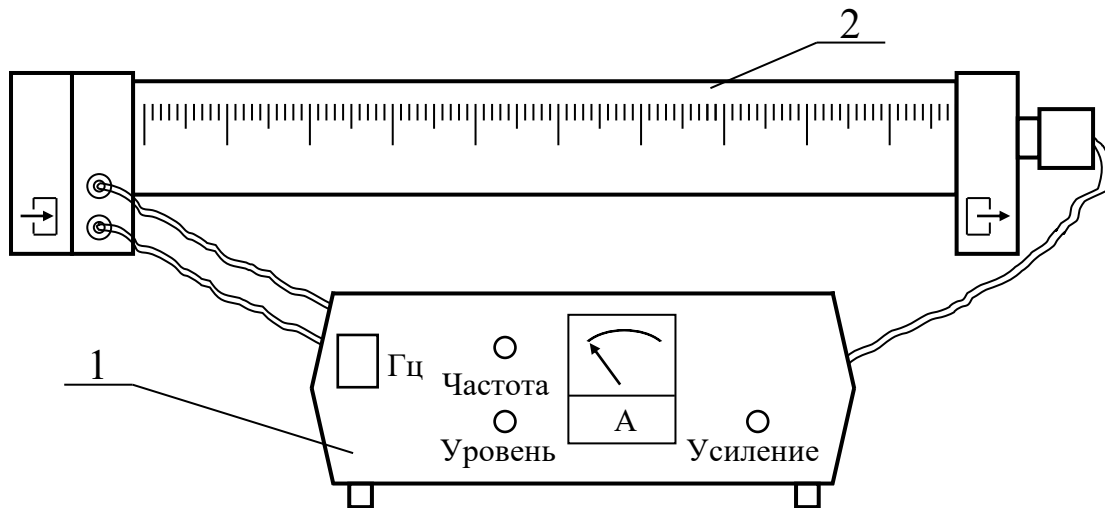


Рис. 14.1.

Для визначення швидкості звуку в повітрі при певній температурі, використовується експериментальна установка, загальний вигляд якої показаний на рис. 14.1.

Робочий елемент установки – це скляна труба 2 довжиною  $L$ , на торцях якої розміщені телефон і мікрофон. Телефон підключено до виходу звукового генератора, який розташований у блоці 1. Частота коливань, що задаються звуковим генератором, регулюється ручкою "ЧАСТОТА" і реєструється на цифровому індикаторі. Амплітуда коливань звукового генератора регулюється ручкою "УРОВЕНЬ". Величину сигналу, що виникає в мікрофоні, можна виміряти міліамперметром. Його чутливість регулюється ручкою "УСИЛЕНИЕ". При резонансі значення струму будуть найбільшими. Вони реєструються міліамперметром при повільній зміні частоти генератора.

### Порядок виконання роботи

1. Ввімкнути установку.
2. Ручку "ЧАСТОТА" встановити в крайнє ліве положення. Ручку

"УРОВЕНЬ" встановити в середнє положення. Ручкою "УСИЛЕНИЕ" відрегулювати чутливість міліамперметра (стрілка повинна бути приблизно посередині шкали).

3. Повільно збільшуючи частоту коливань, що задані звуковим генератором, визначити частоту 1-го резонансу за максимальним відхиленням стрілки на шкалі міліамперметра.

4. Регулюючи ручкою "УСИЛЕНИЕ" чутливість міліамперметра, визначити частоту 2, 3, 4-го резонансів. Виміри повторити при зменшенні частоти. За результатами вимірів побудувати графік  $v_0=f(n)$

5. Після закінчення експерименту вимкнути установку.

6. Переконатися в лінійності графіка залежності  $v_0=f(n)$ . Обчислити величину швидкості звукової хвилі в повітрі при температурі досліду за формулою (14.2).

#### Контрольні запитання

1. Що таке хвиля? Які види хвиль ви знаєте?

2. Що таке довжина хвилі? Як зв'язана довжина хвилі зі швидкістю її поширення?

3. Що таке звук? Розкажіть про процес поширення звукової хвилі в газі.

4. Розкажіть про резонансний метод визначення швидкості звуку в газі.

5. Чому, коли поширюється звук у закритій трубі, можуть утворюватися вузли і пучності?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 15

### Визначення показника заломлення скла

*Прилади і обладнання:* скляна пластинка з двома бічними плоскими паралельними гранями, лінійка, косинець, транспортир, лист картону, шпильки.

#### Теорія методу

Коли промінь світла падає на границю двох середовищ, він змінює напрям свого поширення. Частина світла повертається в перше середовище, тобто відбувається його відбивання. Воно називається дзеркальним, якщо поверхня розділу гладка. Якщо друге середовище прозоре, то частина світла може пройти через границю розділу. При цьому змінюється напрям його поширення, тобто відбувається заломлення світла (рис. 15.1).

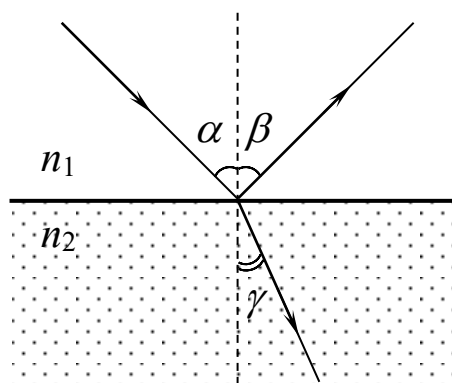


Рис. 15.1.

Позначення на рис. 15.1:

$\alpha$  – кут падіння,  $\beta$  – кут відбивання,  $\gamma$  – кут заломлення,  $n_1$  – абсолютний показник заломлення першого середовища,  $n_2$  – абсолютний показник заломлення другого середовища.

Явища заломлення і відбивання світла описуються такими законами:

1. Промені падаючий, відбитий і заломлений лежать в одній площині з перпендикуляром до границі розділу двох середовищ встановленим у точку падіння променя.

2. Кут падіння дорівнює куту відбивання.

$$\alpha = \beta. \quad (15.1)$$

3. Відношення синуса кута падіння до синуса кута заломлення є величина стала для даних двох середовищ.

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n, \quad (15.2)$$

де  $n$  – відносний показник заломлення.

Ця величина показує, у скільки разів швидкість поширення світла в першому середовищі більша, ніж у другому.

Абсолютним показником заломлення середовища називають показник заломлення цього середовища відносно вакууму.

Тоді

$$n = \frac{n_2}{n_1}, \quad (15.3)$$

де  $n_1$  – абсолютний показник заломлення першого середовища,  $n_2$  – абсолютний показник заломлення другого середовища.

За формулою (15.2) можна визначити показник заломлення скла. Для цього потрібно виміряти кут падіння ( $\alpha$ ) променя на скляну пластинку і кут заломлення  $\gamma$  променя після проходження границі розділу повітря – скло (для повітря  $n_1 \approx 1$  і, отже,  $n \approx n_2$ ).

### Порядок виконання роботи

1. На картон покласти аркуш білого паперу. Посередині листа помістити скляну пластинку і за нею вколоти одну шпильку. Це показано на рис. 15.2 (точка  $A$ ).

2. Розташували око на рівні столу, повертати скляну пластинку доти, поки нижня частина шпильки, яку видно крізь скло, не буде значно зміщена щодо верхньої.

3. Вколоти другу шпильку (*B*) з того ж боку, де знаходиться шпилька *A*. Дві інші шпильки (*C* і *D*) вколоти з іншого боку пластинки так, щоб нижні частини всіх чотирьох шпильок здавалися розташованими на одній прямій.

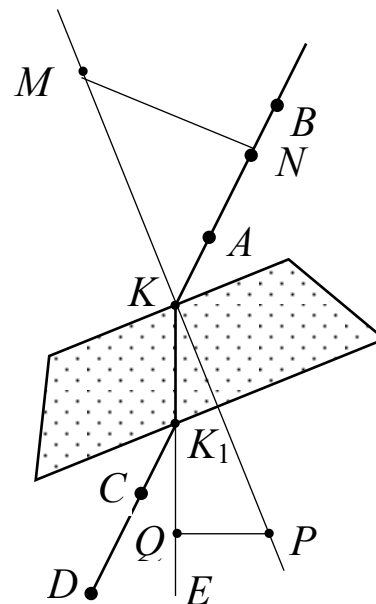


Рис. 15.2

4. Вийняти шпильки. Відзначити місця проколів літерами *A*, *B*, *C* і *D*. Окреслити контури пластинки і зняти її з паперу.

5. Провести прямі *BK*, *DK<sub>1</sub>* і *KK<sub>1</sub>*. Провести через точку *K* пряму *MP* перпендикулярну граням пластинки. Відкласти на цьому перпендикулярі рівні відрізки *KM* і *KP*. З точок *M* і *P* опустити перпендикуляри: *MN* на пряму *KB* і *PQ* на пряму *K<sub>1</sub>E*.

6. Виміряти лінійкою відрізки *MN* і *PQ* і визначити показник заломлення скла за формулою:

$$n = \frac{MN}{PQ}.$$

7. Повторити дослід при інших кутах падіння променів і обчислити середнє значення показника заломлення.

8. Оцінити похибку отриманих результатів.

### Контрольні запитання

1. Що відбувається на границі розділу двох середовищ при падінні променя світла?

2. Сформулюйте закони відбиття і заломлення світла.
3. Що показує відносний показник заломлення середовища?
4. Що таке абсолютний показник заломлення середовища?
5. Як визначити показник заломлення скла?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 16

### Визначення фокусної відстані лінзи

*Прилади і обладнання:* лабораторна установка.

#### Теорія методу

Лінзою називається прозоре тіло, що обмежене з двох боків сферичними поверхнями. Одна з поверхонь лінзи може бути плоскою. Лінзи бувають опуклі (рис. 16.1.а, вони товщі до середини), і увігнуті (рис. 16.1.б, вони до середини тонші). Якщо показник заломлення речовини лінзи більший, ніж середовища, у якій ця лінза знаходиться, то опукла лінза може збирати паралельні промені, що падають на неї. Така лінза називається збиральною. А увігнута лінза називається розсіювальною.

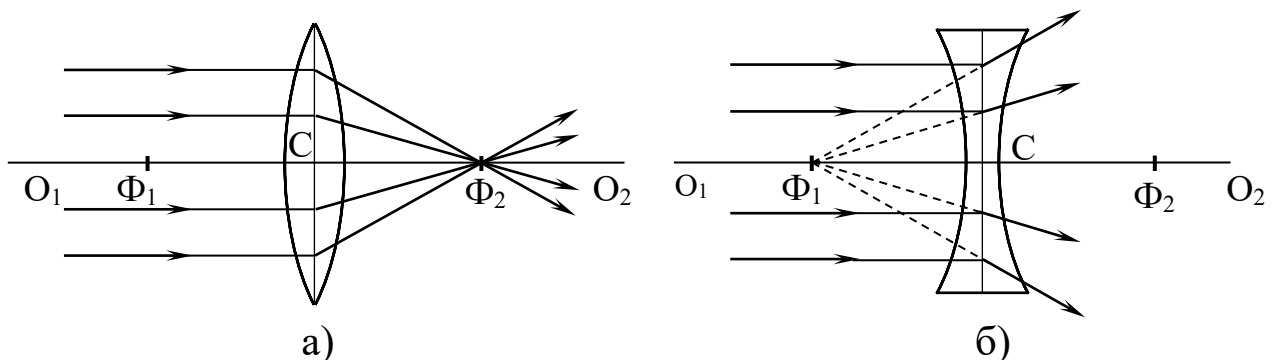


Рис. 16.1.

Тонкою називається лінза, товщина якої мала в порівнянні з радіусом кривизни обмежуючих її поверхонь. Точка всередині лінзи, через яку проходять промені без зміни напрямку, називається

оптичним центром (точка  $C$  на рис. 16.1) тонкої лінзи. Будь-яка пряма, що проходить через центр лінзи, називається оптичною віссю, а та, що проходить через центр кривизни (точки  $O_1$  і  $O_2$  на рис. 16.1) – головною оптичною віссю.

Головним фокусом лінзи називається точка, де перетинаються після заломлення в лінзі промені, що падають на неї пучком, паралельним до головної оптичної осі (точки  $\Phi_1$  і  $\Phi_2$  на рис. 16.1).

У збиральній лінзи головний фокус дійсний. У розсіювальній лінзи – уявний. Відстань  $F$  між головним фокусом лінзи і її оптичним центром називається головною фокусною відстанню. Це основна характеристика лінзи. Для збиральної лінзи головна фокусна відстань – величина додатна, для розсіювальної лінзи – від’ємна. Часто лінзу характеризують оптичною силою  $D = \frac{1}{F}$ . Ця величина, виражається в діоптріях і є оберненою до головної фокусної відстані.

Оптична сила лінзи залежить від кривизни її поверхонь, а також від показника заломлення її речовини щодо навколишнього середовища. Вона може бути обчислена за формулою:

$$D = (n - 1) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right). \quad (16.1)$$

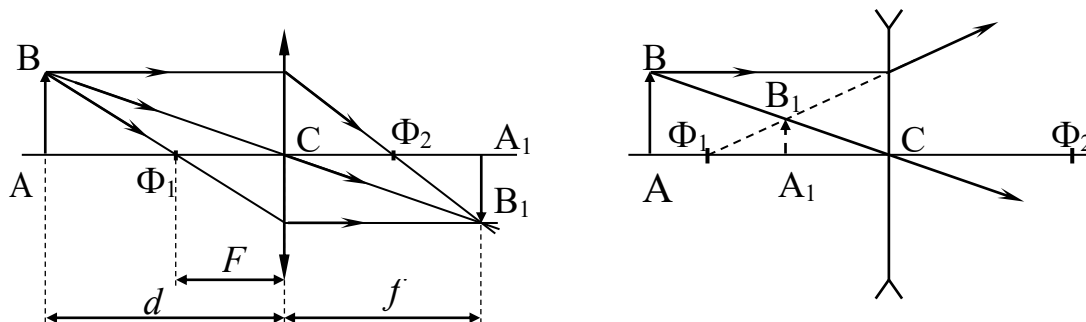


Рис. 16.2.

Для того, щоб за допомогою лінзи побудувати зображення предмета, використовуються промені, хід яких через лінзу ми знаємо. Звичайно беруть два промені з трьох (рис. 16.2):

*Промінь 1*, що проходить через оптичний центр (він пройде через лінзу, не заломлюючись).

*Промінь 2*, що падає на лінзу паралельно до її головної оптичної осі (цей промінь після виходу з лінзи, пройде через її головний фокус).

*Промінь 3*, що проходить через головний фокус лінзи (він з лінзи вийде паралельно до її головної оптичної осі).

Якщо позначити літерою  $d$  відстань від предмета до лінзи, а літерою  $f$  – відстань від лінзи до зображення, то залежність між  $d$ ,  $f$  і  $F$  дається формулою тонкої лінзи:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}. \quad (16.2)$$

Лінійне збільшення лінзи – це відношення розміру зображення предмета до істинного розміру предмета:

$$\beta = \frac{A_1B_1}{AB} = \frac{f}{d}. \quad (16.3)$$

З формули (16.3) ми бачимо, що у збиральній лінзі буде збільшене дійсне зображення у випадку, коли зображення знаходиться далі від лінзи, ніж предмет.

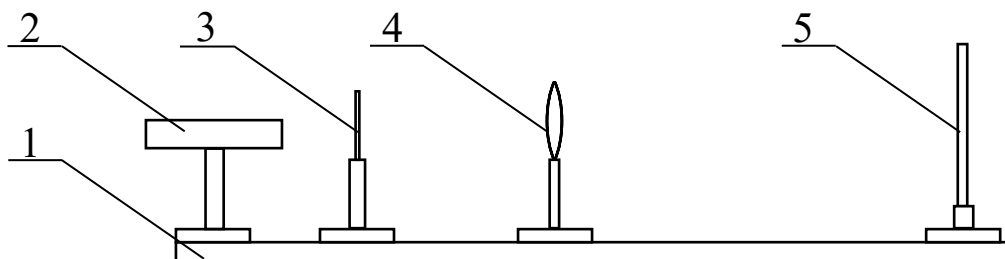


Рис. 16.3.

*1 – оптична лава; 2 – освітлювач; 3 – предмет; 4 – лінза; 5 – екран.*



Щоб визначити головну фокусну відстань лінз, ми використовуємо оптичну лаву (рис. 16.3). Уздовж неї можуть переміщатися рейтери з лінзами, екраном, освітлювачем. Перед початком вимірів предмет, лінзи й екран потрібно установити так, щоб їх центри лежали на одній прямій. Ця пряма повинна бути паралельною ребру оптичної лави. Площина екрана повинна бути перпендикулярною ребру оптичної лави, а вісь лінзи – їй паралельна. Відлік відстаней між деталями оптичної системи робимо з допомогою покажчиків на рейтерах по лінійці, яка розташована уздовж оптичної лави.

### Завдання 1

#### *Визначення фокусної відстані тонкої збиральної лінзи*

##### *Спосіб 1. Визначення $F$ за величинами $d$ і $f$*

Фокусну відстань тонкої збиральної лінзи, можна визначити за формулою лінзи (16.2). Треба виміряти відстані від предмета до лінзи  $d$  і від лінзи до зображення  $f$ .

#### Порядок виконання роботи

1. Розташувати прилади на оптичній лаві (згідно рис. 16.3). Екран помістити на досить великій відстані від освітлювача.

2. Переміщувати лінзу так, щоб одержати чітке зображення предмета на екрані. Виміряти відстані  $d$  і  $f$ .

3. Змінити положення екрана і лінзи. Повторити виміри не менш трьох разів. Отримані результати записати в таблицю 16.1.

4. Підставити у формулу (16.2) значення  $d$  і  $f$ , для кожного досліду та обчислити величину  $F$ . Обчислити середнє значення  $\langle F \rangle$ .

Таблиця 16.1

№ досліджу	$d$ , м	$\langle d \rangle$ , м	$f$ , м	$\langle f \rangle$ , м	$\langle F \rangle$ , м
1.					
2.					
3.					

*Спосіб 2. Визначення  $F$  за величиною переміщення лінзи*

Якщо відстань між предметом і екраном більше  $4F$ , то при незмінному положенні предмета й екрана завжди можна знайти два положення лінзи, при яких на екрані будуть чіткі зображення предмета (в одному випадку зменшене, в іншому збільшене). Якщо відстань між цими положеннями лінзи  $l$ , а відстань між предметом і екраном  $L$ , то:

$$L = d + f;$$

Використаємо цю умову у формулі (16.2):

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{L-d}.$$

Або після приведення до спільного знаменника:

$$d^2 - Ld + FL = 0.$$

Розв'язуючи це квадратне рівняння та враховуючи, що  $l = d_2 - d_1$ , одержимо:

$$l^2 = L^2 - 4FL.$$

З цього співвідношення одержимо:

$$F = \frac{L^2 - l^2}{4L}. \quad (16.4)$$

Таким чином, щоб визначити фокусну відстань лінзи, необхідно виміряти відстань  $L$  між предметом та екраном і відстань  $l$  між двома положеннями лінзи, при яких на екрані будуть чіткі зображення.

Порядок виконання роботи

1. Розташувати прилади на оптичній лаві установки (дивись п. 1 способу 1).

2. Встановити екран на досить великій відстані  $L$  від предмета і виміряти відстань  $L$  по лінійці на оптичній лаві.

3. Переміщуючи лінзу зафіксувати положення чіткого збільшеного і зменшеного зображення предмета на екрані. Виміряти відстань між відповідними положеннями лінзи. Дослід повторити три рази.

4. Повторити виміри за п. 3 для трьох значень відстані  $L$ . Отримані результати записати в таблицю 16.2.

5. Підставити у формулу (16.4) значення  $L$  і  $l$ , для кожного дослідів, обчислити величину  $F$ . Обчислити середнє значення  $\langle F \rangle$ .

Таблиця 16.2

№ дослідів	$L$ , $м$	$d_1$ , $м$	$d_2$ , $м$	$l = d_2 - d_1$ , $м$	$\langle l \rangle$ , $м$	$\langle F \rangle$ , $м$
1.						
2.						
3.						

## Завдання 2

### Визначення фокусної відстані тонкої розсіювальної лінзи

Визначити фокусну відстань розсіювальної лінзи важко тому, що зображення предмета буде уявним і не може бути отримане на екрані. Тому визначати фокусну відстань розсіювальних лінз можливо тільки за допомогою збиральної лінзи. Спочатку за допомогою збиральної лінзи одержати на екрані дійсне зображення предмета. Потім на шляху променів, що виходять із збиральної лінзи, помістити досліджувану розсіювальну лінзу і знову одержати зображення предмета на екрані. Тоді для розсіювальної лінзи "предметом" буде зображення, що дає збиральна лінза. Використовуємо формулу (16.2) для розсіювальної лінзи і з огляду на зворотність ходу променів у системах лінз, одержимо:

$$\frac{1}{a} - \frac{1}{b} = -\frac{1}{F},$$

звідки:

$$F = \frac{ab}{a - b}, \quad (16.5)$$

де  $a$  і  $b$  – відстані від місця розташування розсіювальної лінзи до зображень, які були одержані від системи двох лінз і від однієї збиральної лінзи.

### Порядок виконання роботи

1. Розташувати прилади на оптичній лаві установки (дивись п. 1 завдання 1).
2. Одержати чітке зображення предмета на екрані і виміряти положення екрана  $X_1$  лінійкою на оптичній лаві.
3. Між збиральною лінзою і екраном помістити досліджувану розсіювальну лінзу. Переміщуючи екран, знову одержати на ньому

чітке зображення. Виміряти нове положення екрана  $X_2$  і положення розсіювальної лінзи  $X_0$  по лінійці на оптичній лаві. Усі дані записати в таблицю 16.3.

4. Повторити виміри за п. 3 не менше трьох разів.

5. Розрахувати значення  $a = |X_2 - X_0|$  і  $b = |X_1 - X_0|$ . За формулою (16.5) обчислити величину  $F$  для кожного дослідів. Визначити середнє значення  $\langle F \rangle$ .

Таблицю 16.3.

№ дослідів	$X_1,$ $m$	$X_2,$ $m$	$X_0,$ $m$	$a,$ $m$	$b,$ $m$	$F,$ $m$	$\langle F \rangle,$ $m$
1.							
2.							
3.							

Контрольні запитання

1. Що таке лінза? Які види лінз ви знаєте?
2. Що таке оптичний центр, головна оптична вісь і головні фокуси тонкої лінзи? Намалюйте хід променів у збиральній і розсіювальній лінзах.
3. Що така фокусна відстань і оптична сила лінзи? Від чого залежить оптична сила тонкої лінзи?
4. Виведіть формулу тонкої лінзи.
5. Побудуйте зображення предмета в збиральній лінзі. Що таке лінійне збільшення лінзи?
6. Побудуйте зображення предмета в розсіювальній лінзі.
7. Як експериментально визначити фокусну відстань збиральної лінзи?
8. Як експериментально визначити фокусну відстань розсіювальної лінзи?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №17

### Визначення довжини світлової хвилі за допомогою біпризми

Прилади і обладнання: оптична лава, освітлювач, щілина, біпризма, мікрометр, світлофільтри, збиральна лінза.

#### Теорія методу

**Інтерференція** – це явище накладання двох когерентних хвиль, при якому спостерігається перерозподіл інтенсивності світла в просторі з утворенням максимумів та мінімумів.

Когерентними називаються хвилі однакової частоти, які мають сталу різницю фаз.

Умовами спостереження інтерференційних максимумів та мінімумів є:

$$\Delta_{(\max)} = \pm k\lambda;$$

$$\Delta_{(\min)} = \pm(2k + 1)\frac{\lambda}{2},$$

де  $\Delta$  - оптична різниця ходу світлових променів,  $\lambda$  - довжина світлової хвилі,  $k = 0, 1, 2, 3, \dots$  - порядок інтерференції.

Для прикладу розглянемо інтерференцію світла від когерентних джерел  $S_1$  та  $S_2$ , яка спостерігається на екрані  $E$  (рис. 17.1.).

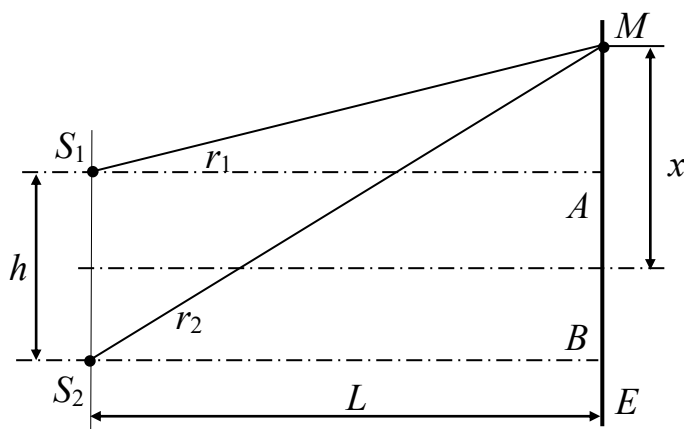


Рис. 17.1.

Для повітря  $\Delta = (r_2 - r_1)n$  співпадає з геометричною різницею ходу ( $n = 1$ ). Для розрахунку величини  $\Delta$  необхідно розглянути два прямокутні трикутники ( $\Delta S_1AM$  та  $\Delta S_2BM$ ).

За теоремою Піфагора

$$(S_1M)^2 = (S_1A)^2 + (AM)^2 = L^2 + \left(x - \frac{h}{2}\right)^2; \quad (17.1)$$

$$(S_2M)^2 = (S_2B)^2 + (BM)^2 = L^2 + \left(x + \frac{h}{2}\right)^2. \quad (17.2)$$

Після віднімання рівняння (17.1) від (17.2) отримаємо

$$r_2^2 - r_1^2 = 2xh. \quad (17.3)$$

За формулою (17.3) одержуємо:

$$(r_2 + r_1)\Delta = 2xh.$$

Враховуючи, що чітка інтерференційна картина спостерігається за умовами:  $x \ll \ll$ , можна записати:

$$r_2 + r_1 \approx 2L. \quad (17.4)$$

Звідси

$$\Delta = \frac{xh}{L}. \quad (17.5)$$

Для одержання когерентних джерел світла в даній роботі використовується біпризма (рис. 17.2).

Використовуючи у формулі (17.5) умову інтерференційних максимумів отримаємо відстань  $x_k$  від центра екрана до інтерференційного

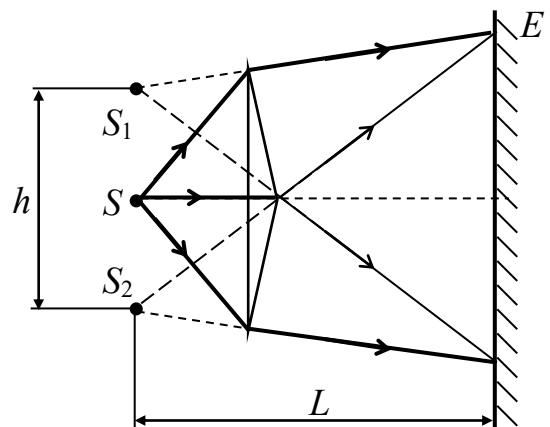


Рис. 17.2.

максимуму порядку  $k$ :

$$\frac{x_k h}{L} = k\lambda.$$

Відповідно для максимуму  $k + i$ :

$$\frac{x_{k+i} h}{L} = (k + i)\lambda.$$

Тоді відстань  $x = x_{k+i} - x_k$  між максимумами, порядки яких

відрізняються на  $i$  дорівнює:  $x = \frac{i\lambda L}{h}$ .

Звідси

$$\lambda = \frac{xh}{iL}. \quad (17.6)$$

Для визначення величини  $h$  слід між біпризмою і екраном поставити збиральну лінзу з відомою фокусною відстанню  $F$ . Переміщенням цієї лінзи досягаємо чіткого зображення уявних джерел світла  $S_1$  і  $S_2$  в площині екрану (рис. 17.3).

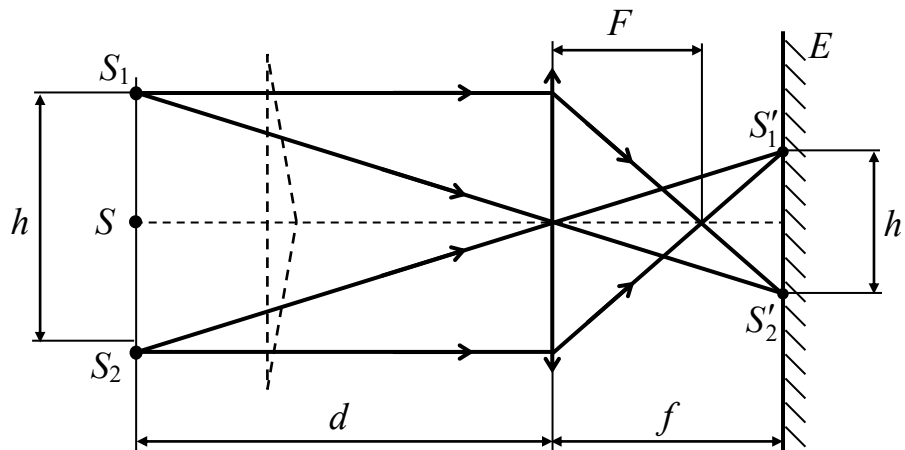


Рис. 17.3.

Запишемо формули лінзи та її збільшення:



$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{F} &= \frac{1}{f} + \frac{1}{d} \\ \frac{h'}{h} &= \frac{f}{d} \\ d + f &= L \end{aligned} \right\} \quad (17.7)$$

Використовуючи формули (17.6) і (17.7) одержимо

$$\lambda = \frac{xh'F}{if^2} \quad (17.8)$$

де  $h'$  - відстань між зображеннями уявних джерел світла  $S_1$  та  $S_2$  в площині екрану;  $f$  - відстань між допоміжною лінзою і екраном.

#### Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись зі схемою установки і одержати чітку інтерференційну картину на екрані зорової труби.
2. Для кожного з виданих світлофільтрів тричі виміряти відстань між максимумами, які відрізняються на  $i = 10$  порядків. (між цими максимумами має бути 9 світлих смуг)
3. Не змінюючи положення біпризми встановити між біпризмою та зоровою трубою допоміжну (збиральну) лінзу. Переміщуючи лінзу зафіксувати її положення, при якому спостерігається чітке зображення уявних джерел світла  $S_1$  і  $S_2$ .
4. Для будь-якого з світлофільтрів тричі виміряти відстань  $h'$  між серединами цих зображень. Виміряти відстань  $f$  між лінзою і екраном зорової труби.
5. Результати експерименту та фокусну відстань допоміжної лінзи записати в таблицю 17.1.

6. За формулою (17.8) обчислити довжину хвилі, яка відповідає максимуму пропускання кожного світлофільтра.

Таблиця 17.1.

Світлофільтр	Червоний	Зелений
$x$ , мм ( $i = 10$ )		
$\langle x \rangle$ , м		
$h'$ , мм		
$\langle h' \rangle$ , м		
$f$ , мм		
$\lambda$ , мм		

Контрольні запитання

1. Що таке інтерференція?
2. Які хвилі називають когерентними?
3. При яких умовах спостерігається інтерференційний максимум та мінімум від двох когерентних хвиль?
4. Що таке геометрична і оптична різниця ходу?
5. Накресліть схему ходу променів в біпризмі.

**ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №18**

**Вивчення дифракції Фраунгофера на дифракційній ґратці**

*Прилади і обладнання:* оптична лава, екран, лінійка, дифракційна ґратка.

**Теорія методу**

Дифракцією називається явище огинання хвилею перешкод, розміри яких співрозмірні з довжиною цієї хвилі. Згідно з принципом Гюйгенса-Френеля, амплітуда коливань хвилі в даній точці

визначається інтерференцією вторинних хвиль від деякої хвильової поверхні.

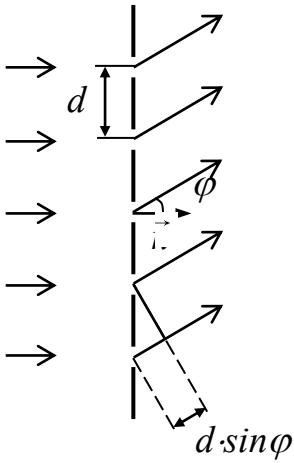


Рис. 18.1.

Дифракційна ґратка являє собою скляну пластинку, на яку через однакові інтервали нанесені паралельні штрихи. Основними параметрами дифракційної ґратки є її період  $d$  (стала ґратки) і кількість штрихів на одиницю довжини.

Дифракційні ґратки використовують тоді, коли

досліджується дифракція Фраунгофера, тобто, коли на ґратку падає плоска хвиля. В цьому випадку напрям, в якому відбувається спостереження, визначається кутом  $\phi$  між нормаллю до ґратки і напрямом променів. Розподіл інтенсивності в дифракційній картині визначається суперпозицією хвиль, які приходять в точку спостереження від різних щілин дифракційної ґратки.

Якщо падаюча на ґратку світлова хвиля поширюється перпендикулярно до її поверхні, то інтенсивність світла при дифракції максимальна для таких кутів  $\phi_m$ , для яких хвилі, що приходять в точку спостереження від всіх щілин ґратки знаходяться в фазі. Як видно з рис. 17.1, для цих напрямів має виконуватись таке співвідношення:

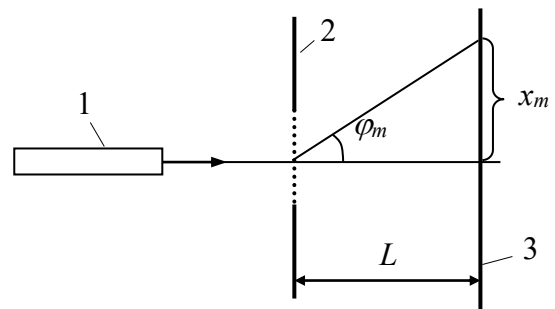


Рис. 18.2.

$$d \sin \phi_m = \pm m \lambda, \quad m = 1, 2, 3, \dots \quad (18.1)$$

Для дослідження явища дифракції в даній роботі використовується установка, схема якої зображена на рис. 18.2.

Джерелом світла (1) є лазер, який генерує практично плоску монохроматичну хвилю, довжина якої  $\lambda$  вказана на установці. Хвиля падає на дифракційну ґратку (2) перпендикулярно до її поверхні. Дифракційна картина спостерігається на екрані (3).

Якщо виміряти відстань  $L$  від ґратки до екрана і відстань  $x$  від центра екрана до максимуму порядку  $m$ , то . Використовуючи це співвідношення у формулі (1) можна визначити період дифракційної ґратки:

$$d = \frac{m\lambda\sqrt{L^2 + x_m^2}}{x_m} . \quad (18.2)$$

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись зі схемою установки.
2. Розмістити ґратку перпендикулярно лазерному променю та одержати на екрані чітку дифракційну картину.
3. Виміряти відстань  $x_m$  від центра дифракційної картини до кожного максимуму, який спостерігається на екрані (відстань до додатних і від'ємних порядків усереднити).
4. Результати вимірювань і відстань  $L$  від ґратки до екрана записати в таблицю 18.1.
5. За формулою (18.2) визначити період дифракційної ґратки.

Таблиця 18.1.

Відстань від ґратки до екрана $L =$						
Номер максимуму	0	1	2	3	4	5
$x_m$						

$\sin \varphi_m$						
$d$ , мм						
$\langle d \rangle$ , м						

### Контрольні запитання

1. Що називають дифракцією?
2. В чому полягає принцип Гюйгенса-Френеля?
3. Що таке дифракційна ґратка і для чого її використовують?
4. Які види дифракції ви знаєте?
5. Записати умову головних максимумів для дифракційної ґратки.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №19

### Вивчення спектру атома водню

*Прилади і обладнання:* лабораторна установка.

#### Теорія методу

Спектр випромінювання є важливою характеристикою речовини, яка дозволяє встановити її склад, деякі особливості її будови, а також дослідити властивості атомів і молекул.

Атоми газу випромінюють лінійчасті спектри, які складаються з груп окремих спектральних ліній. Ці групи називають серіями. Положення ліній в атомних спектрах можна пояснити тільки на основі квантової теорії. Квантова механіка доводить, що енергія електронів в атомі може приймати не будь-які, а тільки певні значення, які утворюють дискретний набір (рис. 19.1). Стани з певними значеннями енергії називають рівнями. Спектральні лінії у спектрі випромінювання виникають при переході електронів з одного рівня на другий (більш низький). В цьому випадку енергія кванта дорівнює різниці енергій цих рівнів:

$$h\nu = W_m - W_n, \quad (19.1)$$

де  $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$  Дж·с – стала Планка,  $\nu$  - частота хвилі спектральної лінії.

Спектральну серію складає сукупність ліній які мають спільний нижній рівень ( $n = \text{const}$ ).

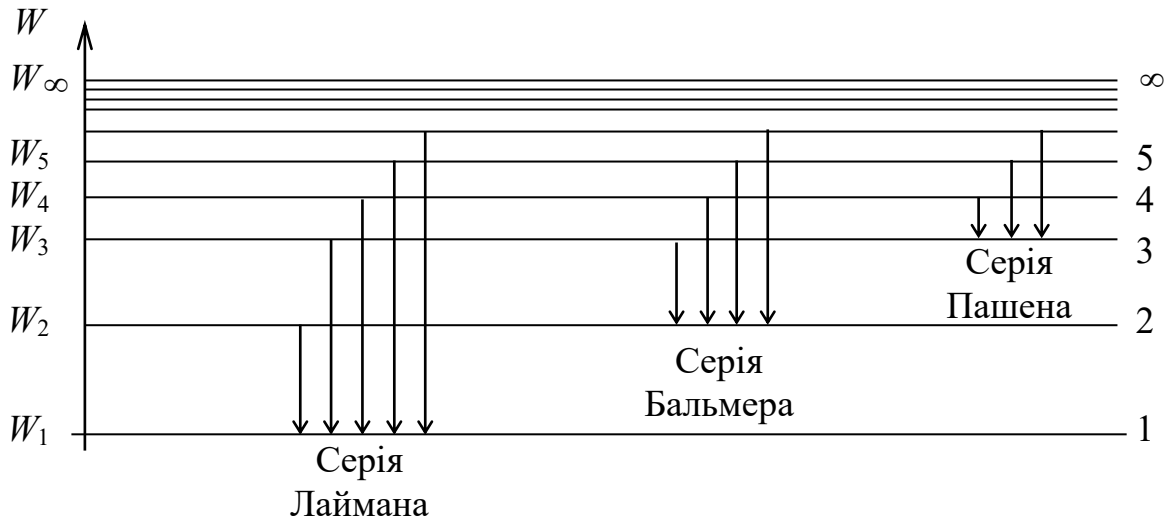


Рис. 19.1. Схема енергетичних рівнів атома водню і переходи між рівнями (для спектру випромінювання)

Найбільш простий спектр має атом водню. Довжини хвиль його спектральних ліній визначаються за узагальненою формулою Бальмера:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad (19.2)$$

де  $R$  – стала Рідберга, а  $m, n$  – цілі числа.

Кожній серії спектру атома водню відповідає певне значення  $n$ . Значення  $m$  являє собою послідовний ряд цілих чисел від  $n + 1$  до  $\infty$ .

Як видно з формули (19.2) спектр випромінювання водню складається з таких серій:

Серія Лаймана ( $n = 1$ ) – ультрафіолетова частина спектру:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad (19.3)$$

Серія Бальмера ( $n = 2$ ) – видима частина спектру:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad (19.4)$$

Серія Пашена ( $n = 3$ ) – інфрачервона частина спектру:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{3^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad (19.5)$$

Серія Брекета ( $n = 4$ ) – інфрачервона частина спектру:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{4^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad (19.6)$$

Серія Пфунда ( $n = 5$ ) – інфрачервона частина спектру:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{5^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad (19.7)$$

У даній роботі вивчається серія Бальмера. Перші чотири лінії цієї серії мають позначення:

- 1)  $H_\alpha$  - червона ( $m = 3$ ).
- 2)  $H_\beta$  - синя ( $m = 4$ ).
- 3)  $H_\gamma$  - блакитна ( $m = 5$ ).
- 4)  $H_\delta$  - фіолетова ( $m = 6$ ).

Для дослідження спектру атома водню призначена експериментальна установка, до складу якої входять два блоки – випромінювач і монохроматор, які розміщені на оптичній лаві з використанням спеціальних регульованих підставок – рейтерів. Робочим елементом блоку випромінювача є заповнена воднем лампа (ТВС -15), у якій в результаті газового розряду значна частина

молекул дисоціює і внаслідок чого створюються умови для збудження атомів водню. Для спостереження спектру випромінювання у даній роботі використовується універсальний монохроматор, призначений для дослідження спектрів в межах довжин хвиль 200 – 800 нм ( $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$ ). Спостереження можна здійснити візуально або за допомогою приймача випромінювання. Спрощена схема монохроматора подана на рис. 19.2.

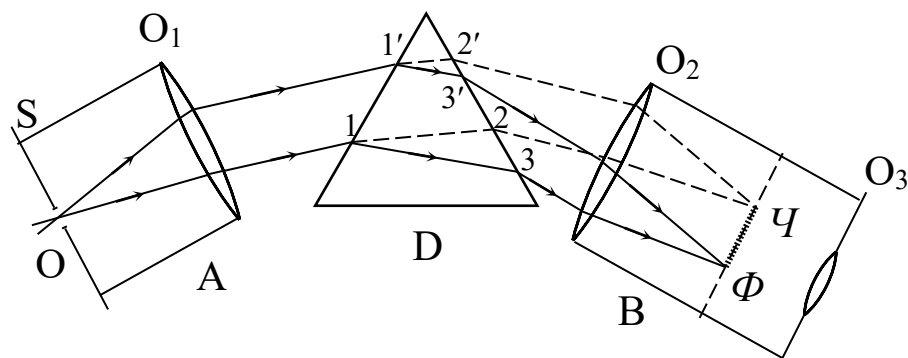


Рис. 19.2. Спрощена схема монохроматора

A – коліматор

S – щілина коліматора

O<sub>1</sub> – коліматорна лінза

B – зорова труба

O<sub>2</sub> – об’єктив

O<sub>3</sub> – окулярна лінза (окуляр)

D – призма

Для градуювання монохроматора використовується ртутна лампа, яку розміщують на оптичній лаві замість досліджуваної лампи.

### Порядок виконання роботи

Перед початком вивчення спектру водню монохроматор необхідно проградувати, тобто визначити залежність довжин хвиль від відповідних їм поділок шкали барабану. Для цього



використовується джерело з відомим спектром. В цій роботі використовується спектр ртуті.

### Градування монохроматора

1. Закріпити в рейтері ртутну лампу перед вхідною щілиною монохроматора і ввімкнути живлення лампи.

2. За допомогою мікрометричного гвинта встановити вхідну щілину шириною 0,1 мм. Ввімкнути ртутну лампу. Спостерігаючи через окуляр за спектром, ввести в поле зору найбільш яскраву червону лінію  $\lambda_1=623$  нм. Якщо зображення стрілки-показчика розмите, то необхідно обертанням окуляра досягти максимальної чіткості.

3. Обертаючи барабан довжин хвиль необхідно визначити всі лінії ртуті, зазначені в таблиці 18.1, послідовно встановлюючи точно проти стрілки-показчика всі лінії ртуті і записати в таблицю 19.1 відповідні їм поділки барабана.

Таблиця 19.1

Лінія	Довжина хвилі, $\lambda$ , нм	Поділки барабана, $\theta$
червона	623	
жовта	577	
зелена яскрава	546,1	
зелена слабка	491,6	
синя	435,8	
фіолетова	407,7	

4. Вимкнути ртутну лампу.

5. За даними таблиці 19.1 на міліметровому папері побудувати графік  $\lambda = f(\theta)$ .

Визначення довжин хвиль видимої частини спектра водню і сталої Рідберга

1. Замінити ртутну лампу на водневу. Ввімкнути живлення лампи.
2. Обертаючи барабан довжин хвиль послідовно встановити всі лінії спектру водню навпроти стрілки-показчика, записати відповідні їм поділки барабана в таблицю 19.2. За отриманим даними і градуовальним графіком визначити довжини хвиль у спектрі водню, результати записати в таблицю 19.2.

Таблиця 19.2.

Лінія	Поділки барабана, $\theta$	Довжина хвилі, $\lambda$ , нм	$m$	$R$ , $m^{-1}$
червона			3	
блакитна			4	
фіолетова перша			5	

3. Вимкнути водневу лампу.
4. Використовуючи формулу (19.2) обчислити значення сталої Рідберга, результати записати в таблицю 19.2. Розрахувати середнє значення сталої Рідберга  $R$  та похибку вимірювання.

Записати остаточний результат у вигляді:  $R = \langle R \rangle \pm \Delta R$ .

Контрольні запитання

1. Що таке серії випромінювання? Показати на схемі енергетичних рівнів атома водню переходи, які відповідають серії Бальмера.
2. Перелічити серії спектру водню. Записати формули цих серій.
3. Сформулювати та пояснити постулати Бора.
4. Якими способами можна перевести атом речовини у збуджений стан?
5. Накресліть діаграму енергетичних рівнів атома водню до  $n = 4$  включно.

### *Список літератури*

1. Яворский Б. М., Селезнев Ю. А. Справочное руководство по физике.-М.: Наука, 1989.
2. Евграфова Н. Н., Каган В. Л. Курс физики. - М.; Высшая школа,1984.
3. Белоус М. В., Васковская З. Н., Воронежская Л. В. Ментковский Ю. Л. Физика К.: Высшая школа, 1990.
4. Корочкина Л. Н., Каурова А. С., Шутенко Л. Д., Стасюк Б. П., Физика /для студентов - иностранцев/ - .М.: Высшая школа, 1983.

## Зміст

Джерела і види похибок .....	4
<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1</b>	
<i>Визначення густини тіл правильної геометричної форми .....</i>	<i>8</i>
<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2</b>	
<i>Визначення густини твердих тіл методом гідростатичного зважування.....</i>	<i>12</i>
<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3</b>	
<i>Вивчення законів руху тіл на машині Атвуда.....</i>	<i>15</i>
<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4</b>	
<i>Визначення жорсткості пружини .....</i>	<i>21</i>
<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5</b>	
<i>Визначення коефіцієнта тертя ковзання .....</i>	<i>24</i>
<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6</b>	
<i>Перевірка закону збереження імпульсу при пружному зіткненні двох куль.....</i>	<i>28</i>
<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7</b>	
<i>Перевірка закону Бойля-Маріотта .....</i>	<i>34</i>
<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8</b>	
<i>Визначення теплоємності твердих тіл.....</i>	<i>36</i>
<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9</b> <i>Визначення питомого опору провідника .....</i>	<i>41</i>
<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10</b>	
<i>Визначення ЕРС і внутрішнього опору джерела струму. ....</i>	<i>44</i>
<b>Лабораторна робота №11</b>	
<i>Визначення ЕРС джерела струму методом компенсації .....</i>	<i>47</i>

<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 12</b>	
<i>Визначення коефіцієнта корисної дії нагрівача .....</i>	<b>49</b>
<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 13</b>	
<i>Визначення прискорення вільного падіння за допомогою математичного маятника .....</i>	<b>52</b>
<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 14</b>	
<i>Визначення швидкості звукової хвилі в повітрі резонансним методом .....</i>	<b>55</b>
<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 15</b>	
<i>Визначення показника заломлення скла .....</i>	<b>59</b>
<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 16</b>	
<i>Визначення фокусної відстані лінзи .....</i>	<b>62</b>
<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №17</b>	
<i>Визначення довжини світлової хвилі за допомогою біпризми .....</i>	<b>70</b>
<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №18</b>	
<i>Вивчення дифракції Фраунгофера на дифракційній ґратці .....</i>	<b>74</b>
<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №19</b>	
<i>Вивчення спектру атома водню .....</i>	<b>77</b>
<i>Список літератури .....</i>	<b>83</b>