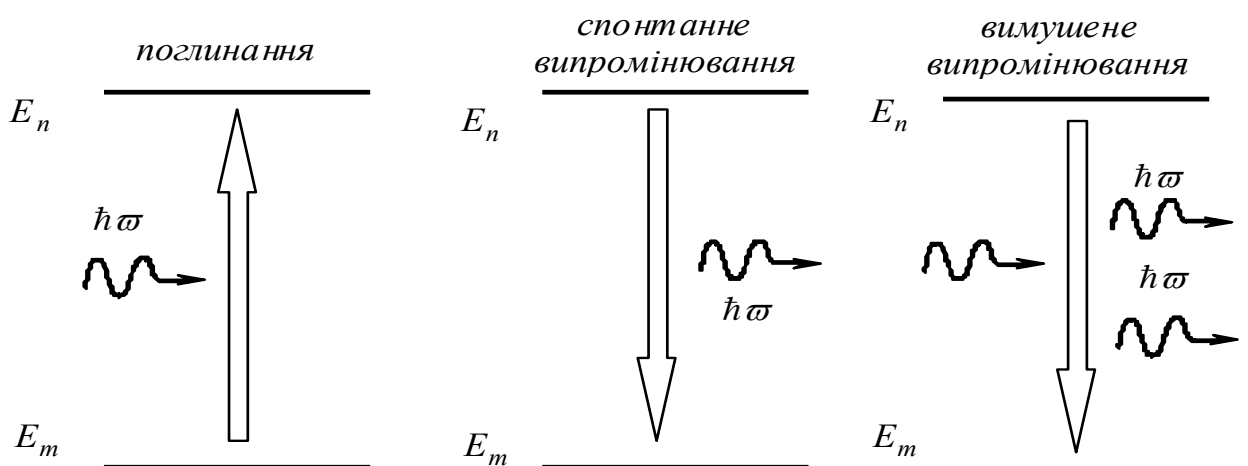


# ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ З ОПТИКИ ТА АТОМНОЇ ФІЗИКИ



**Міністерство аграрної політики та продовольства України  
Харківський державний біотехнологічний університет**

**С. С. Авотін, Н.М. Олійник**

# **ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ З ОПТИКИ ТА АТОМНОЇ ФІЗИКИ**

**Посібник**

**Харків – 2022**

УДК 53(075.8)  
Л 12

.)

Рецензенти

д-р фіз.-мат. наук, професор кафедри фізики ХНУРЕ *А.І. Козарь*  
канд. техн. наук, доц. кафедри фізики та вищої математики ДБТУ  
*М.Й. Коваленко*

**Л12**      Лабораторний практикум з оптики та атомної фізики:  
посібник 2022. – 63 с.

Вміщено описи лабораторних робіт за розділами фізики: оптика і атомна фізика. Включено загальні вказівки з виконання лабораторних робіт, таблиці значень фізичних констант, контрольні запитання.

Призначено для студентів 1-го і 2-го курсів вищих навчальних закладів III і IV рівнів акредитації.

**УДК- 53(075.8)**

© Авогін С. С., Олійник Н.М., 2022  
© Харківський державний біотехнологічний  
університет, 2022

## ВСТУП

Лабораторний практикум з фізики ознайомлює студентів з різними приладами та методами фізичних вимірювань, навчає техніки експериментальних досліджень, аналізу і обґрунтуванню одержаних результатів, повторенню та закріпленню теорії.

До виконання лабораторної роботи необхідно підготуватись заздалегідь, вивчити конспект лекцій і рекомендовані розділи навчального посібника за цією темою.

До виконання лабораторної роботи допускають тільки за наявності оформленого звіту за виконану попередню роботу і частково виконаного звіту про роботу, яку студент буде виконувати на занятті. В лабораторії проводять тільки вимірювання та обчислення.

***Увага! До роботи на лабораторних стендах студенти допускаються тільки після інструктажу з техніки безпеки і перевірки допуску до лабораторної роботи.***

Після проведення вимірювань результати обчислень необхідно показати викладачеві, а до наступного лабораторного заняття оформити звіт з виконаної роботи.

Згідно з ДСТУ16263-70, вимірювання – це знаходження числового значення фізичної величини за допомогою спеціальних технічних засобів (приладів). Значення фізичних величин, обчислені під час вимірювання, не можуть бути абсолютно точними, тому вимірювання вважаються закінченими тільки тоді, коли відома точність обчисленого результату. Тому результати вимірювань обов'язково записують, враховуючи похибки.

Звіт з лабораторної роботи повинен містити такі розділи:

1. Найменування роботи.
2. Мета роботи.
3. Теоретична частина (опис, рисунки, формули).
4. Експериментальні дослідження.
5. Порядок виконання роботи.
6. Обробка результатів вимірювань.
7. Висновки.

*Лабораторна робота №1*  
**ВИЗНАЧЕННЯ ГОЛОВНОЇ ФОКУСНОЇ ВІДСТАНІ  
ОПТИЧНИХ СИСТЕМ**

**1.1. Мета роботи**

Визначити головну фокусну відстань і оптичну силу збиральної і розсіювальної лінз.

**1.2. Теоретична частина**

У геометричній оптиці головну фокусну відстань збиральної лінзи  $F$  визначають за формулою:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}, \quad (1.1)$$

де  $d$  – відстань від предмета АВ до оптичного центру О лінзи. (рис.1.1);  $f$  – відстань від оптичного центра О лінзи до різкого зображення цього предмета А'В' на екрані.

Оптична сила лінзи вимірюється у діоптріях (дпр) і пов'язана з головною фокусною відстанню співвідношенням:

$$D = \frac{1}{F}. \quad (1.2)$$

Величини  $d$  і  $f$  безпосередньо не можна визначити точно, оскільки оптичний центр лінзи не завжди співпадає з її центром симетрії і знайти його розміщення нелегко. Зміст формули (1.1) не залежить від перестановки величин  $d$  і  $f$ . Це означає, що коли на місці різкого зображення А'В' предмета АВ встановити сам предмет, то його зображення з'явиться у тому місці, де раніше був предмет.

Якщо, одержавши різке, зворотне і збільшене зображення предмета А'В' на екрані, виміряти  $d$  і  $f$ , а після цього, не чіпаючи предмет і екран, пересунути лінзу L у положення L' так, щоб відстань між L і АВ дорівнювала  $f$ , то на екрані буде видно різке, зворотне і зменшене зображення предмета А'В', що буде знаходитися від L' якраз на відстані  $d$ . З рис. 1.1 видно, що  $k = f + d$ ;  $a = f - d$ . Додаючи та віднімаючи вирази, отримаємо:

$$f = \frac{k+a}{2}, \quad d = \frac{k-a}{2}.$$

Величину фокусної відстані отримаємо за формулою:

$$F = \frac{k^2 - a^2}{4k}. \quad (1.3)$$

### 1.3. Методика експерименту

Установка для визначення фокусних відстаней оптичних систем являє оптичну лаву, на якій встановлені: предмет у вигляді стрілки, який освітлюється лампою розжарювання, рухомий штатив з лінзами і екран.

При вимірюваннях потрібно встановити екран у певному положенні (не ближче ніж 60 см від предмета).

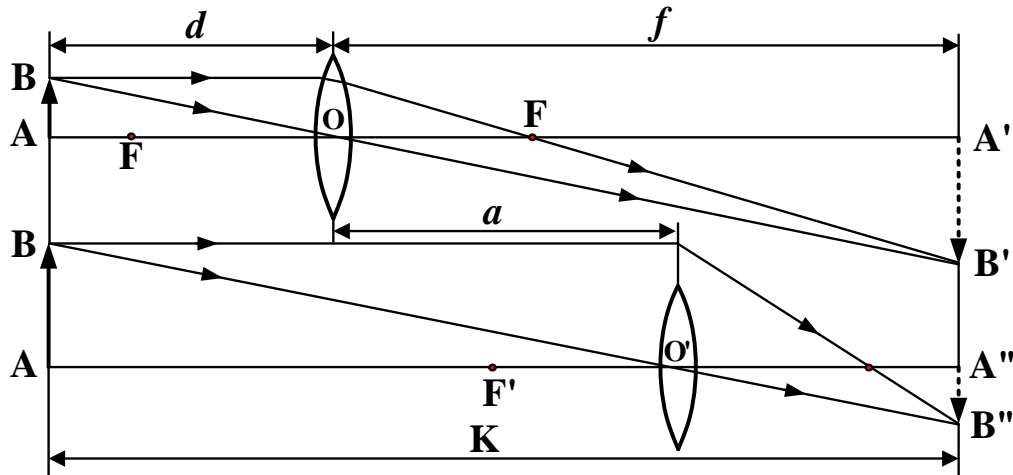


Рис.1.1

Пересуваючи штатив отримують різке зображення стрілки на екрані. Виміряти відстані:  $k$  – між предметом і екраном,  $d$  – між предметом і лінзою,  $f$  – між зображенням і лінзою (рис. 1.1).

### 1.4. Експериментальні дослідження

#### А. Визначення фокусної відстані збиральної лінзи.

1. Виміряти відстань  $k$  між стрілкою і її зображенням на екрані.
2. Пересунувши збиральну лінзу, отримати на екрані збільшене чітке зображення стрілки і виміряти відстані  $d$  – між стрілкою і лінзою і  $f$  – між зображенням і лінзою.
3. Знову пересунувши збиральну лінзу, отримати на екрані зменшене різке зображення стрілки і виміряти відстані  $d'$  – між стрілкою і лінзою і  $f'$  – між зображенням і лінзою.
4. Знайти відстань  $a$  між першим і другим положеннями лінзи.
5. За формулою (1.3) обчислити головну фокусну відстань лінзи з точністю 0,01 см.
6. Дослід повторити три рази і підрахувати середнє значення головної фокусної відстані збиральної лінзи. Результати всіх вимірювань записати в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

**Результати вимірювань**

Пор №	Відстань від стрілки до екрана к, м	Розміщення лінзи				Переміщення лінзи а, м
		перше (L)		друге (L')		
		d, м	f, м	d' м	f' м	
<b>Збиральна лінза</b>						
1						
2						
3						
середнє значення $F_{збир} =$						
<b>Система лінз</b>						
1						
2						
3						
середнє значення $F_{сист} =$						

**В.** Визначення фокусної відстані оптичної системи і збиральної лінзи.

1. Скласти разом збиральну і розсіювальну лінзи. Потрібно мати на увазі, що система лінз повинна давати дійсне зображення предмета (стрілки) на екрані.

2. За визначеною методикою (А, пп.1 – 6) виміряти відстані:  $d, d'$  – між зображенням стрілки і оптичною системою лінз і  $f, f'$  – між зображенням і системою лінз та підрахувати фокусну відстань системи лінз. Результати вимірювань занести в табл. 1.1.

3. Визначити фокусну відстань розсіювальної лінзи  $F_{розс}$  за допомогою співвідношення

$$\frac{1}{F_{розс}} = \frac{1}{F_{сист}} - \frac{1}{F_{збир}}. \quad (1.4)$$

**Додаткове завдання**

З геометричної оптики відомо, що оптична сила лінзи дорівнює:

$$D = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right), \quad (1.5)$$

де  $R_1$  і  $R_2$  – радіуси кривизни поверхонь лінзи; показник заломлення оптичного скла  $n = 1,51$ . Якщо у подвійноопуклій

лінзі  $R_1=R_2=R$ , то за формулою (1.5) можна знайти радіуси кривизни лінзи.

### Контрольні запитання

1. Що називається лінзою?
2. Дайте визначення оптичної осі, оптичного центру, головного фокуса і фокальних площин лінзи.
3. Дайте визначення головного фокуса і фокальних площин лінзи.
4. Що таке оптична сила лінзи і в яких одиницях вона вимірюється?
5. За яких умов система, що складається із збиральної та розсіювальної лінз, буде давати дійсне зображення?

### Лабораторна робота № 2

## ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИЧНИХ СПЕКТРІВ.

### 2.1. Мета роботи

Градування монохроматора і дослідження оптичних спектрів.

### 2.2. Теоретична частина

Будь-яка нагріта речовина є джерелом електромагнітного випромінювання в широкому діапазоні хвиль. Сукупність довжин хвиль, які випромінюються джерелом, називається *спектром випромінювання* (або емісійним спектром).

Після проходження випромінювання крізь речовину утворюються спектри поглинання (адсорбційні спектри). Крім того, існують спектри відбивання і спектри розсіювання. Всі вони утворюють групу оптичних спектрів.

Вигляд спектра визначається розподілом енергії випромінювання за довжиною хвилі і залежить від температури і природи джерела. За видом оптичні спектри поділяють на:

*лінійчасті* – складаються з окремих спектральних ліній, що відповідають дискретним довжинам хвиль  $\lambda$ ;

*смугасті* – складаються з окремих смуг, кожна з яких охоплює деякий інтервал довжин хвиль;

*суцільні* – охоплюють широкий діапазон довжин хвиль.

Оптичні спектри виникають при квантових переходах між рівнями атомів і молекул речовини. Спектри випромінювання



відповідають можливим квантовим переходам з верхніх рівней на нижні, а спектри поглинання – з нижніх рівней на верхні.

Тверді тіла та рідина дають суцільні спектри випромінювання, молекулярні гази і пари – смугасті спектри, а атомарні гази і пари – лінійчаті спектри. Гази і пари поглинають випромінювання тільки з тими довжинами хвиль, що вони самі випромінюють.

Кількість і розміщення ліній у спектрі випромінювання газу чи пару залежить від будови хімічного елемента чи сполуки. Тому оптичні спектри використовують у спектральному аналізі для виявлення в досліджуваній речовині окремих елементів, тобто для визначення його хімічного складу.

Найбільш простий лінійний спектр дає атомарний водень. Лінії випромінювання (поглинання) у спектрі водню утворюють групи, що називаються *серіями*. Ці серії знаходяться в крайній ультрафіолетовій області (серія Лаймана), у видимій і близькій ультрафіолетовій області (серія Бальмера), у інфрачервоній області (серія Пашена), а також у далекій інфрачервоній області спектра (серії Брекета і Пфунда).

**Частина ліній серії Бальмера знаходиться у видимій частині спектра і доступна візуальному спостереженню.** Ці лінії позначаються символами  $H_\alpha, H_\beta, H_\gamma, \dots$  і розташовані так, як показано на рис. 2.1.

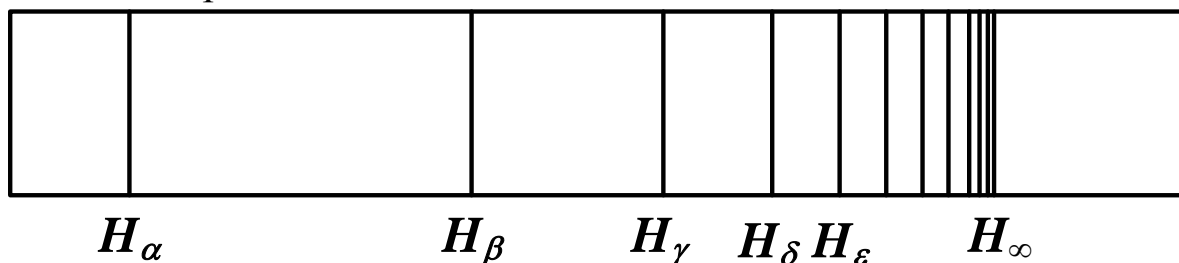


Рис. 2.1

Довжини хвиль, що відповідні цим лініям, підлягають емпіричній формулі Бальмера:

$$\nu^* = \frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n_0^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad (2.1)$$

де  $R = 1,1 \cdot 10^{-7} \text{ м}^{-1}$  – стала Ридберга,  $\nu^*$  – хвильове число, яке зворотне довжині хвилі. Для ліній серії Лаймана  $n_0 = 1, n = 2, 3, \dots$ , для серії Бальмера  $n_0 = 2, n = 3, 4, 5, \dots$  і т.д.

Теоретичне пояснення спектральних залежностей було вперше викладено у напівквантовій теорії Бора. Більш повне і точне розв'язання задачі про спектральні закономірності атомів і молекул дає квантова механіка.

З теорії Бора випливає, що атом водню може знаходитися в ряді дискретних стійких станів, яким відповідають рівні:

$$E_n = -\frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2 n^2}, \quad (2.2)$$

де  $m$  – маса електрона;  $e$  – заряд електрона;  $\varepsilon_0$  – електрична стала;  $h$  – стала Планка;  $n$  – головне квантове число ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ).

У стійкому (стаціонарному) стані, атом не випромінює. Випромінювання кванта світла з енергією  $h\nu$  ( $\nu$  – частота) виникає лише при переході атома зі стану з енергією  $E_n$  в інший стаціонарний стан з енергією  $E_{n_0}$ , причому  $E_n > E_{n_0}$ :

$$h\nu = E_n - E_{n_0}. \quad (2.3)$$

Поглинання кванта світла супроводжується переходом атома у стаціонарний збуджений стан з більш високим рівнем енергії. Цей стан атома нестійкий. Після закінчення короткого проміжку часу атом спонтанно випромінює поглинений квант енергії і переходить в основний стан, для якого  $n = 1$ , що відповідає мінімуму енергії атома. Поділивши в рівності (2.3) обидві частини на  $hc$ , де  $c$  – швидкість світла в пустоті, і позначивши:

$$R = -\frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 ch^3},$$

знову приходимо до виразу (2.2).

Обчислене за формулою (2.4) значення точно співпадає зі значенням, одержаним дослідним шляхом і наведеним вище.

Для експериментального визначення сталої Рідберга необхідно використати рівність (2.2), в якій невідомі хвильові числа (або довжини хвиль) знаходяться як результати спектрометричних вимірів.

Для дослідження спектрів випромінювання та поглинання застосовується універсальний монохроматор УМ-2 (рис. 2.2).

Основними частинами монохроматора є: коліматор, дисперсійна призма і зорова труба. Світло від джерела попадає на вхідну щілину (2), ширину якої можна регулювати гвинтом (3). Вхідна щілина знаходиться у фокусі об'єктива коліматора (4).

Паралельний пучок променів, що виходить із коліматора, проходить через дисперсійну призму і дає в полі зору труби картину спектра.

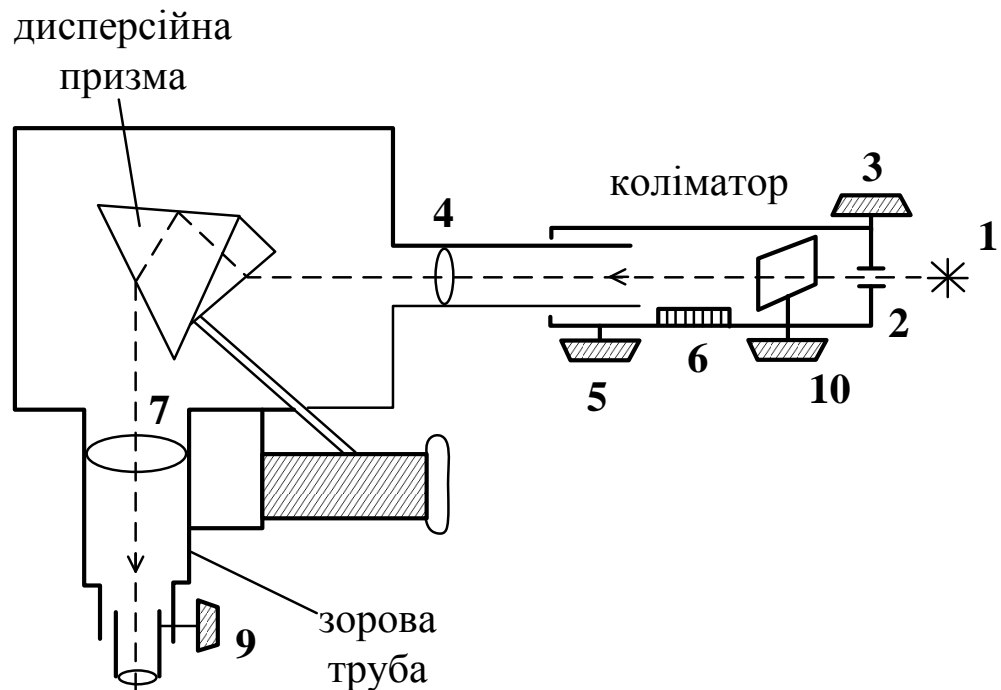


Рис. 2.2.

У фокусі камерного об'єктива (7) є показчик, щодо якого виставляється потрібна лінія спектра. Переміщення цієї лінії відбувається при повороті дисперсійної призми за допомогою барабана (8). На барабані нанесені поділки з числами, кожна через  $50^\circ$ . Ціна однієї поділки становить  $2^\circ$ . Установка об'єктива коліматора в правильне положення відносно щілини проводиться за допомогою гвинта (5). Це положення можна визначити за шкалою (6).

Якщо в полі зору труби однаково різко видно показчик і краї щілини коліматора, то установлення проведено правильно. В протилежному разі необхідно зробити фокусування (навести на різкість зображення): спочатку показчика – за допомогою кільця окуляра зорової труби (9), а після цього – гвинтом (5) зробити фокусування щілини коліматора.

Градування монохроматора проводиться по спектральним

лініям ртуті (табл. 2.1). Джерелом випромінювання є лампа ДРШ, що підключена до блоку живлення ЕПС-Ш. Джерелом досліджуваного випромінювання є набір трубок з атомарним газом, приєднаних до котушки Румкорфа з випрямлячем на 12 В.

### ***Завдання 1. Градування монохроматора***

1. Встановити на рейці на відстані 453 мм від площини щілини монохроматора ртутну лампу, а перед нею – конденсор з фокусною відстанню 94 мм. При правильному встановленні позначки на рейці будуть знаходитись у площинах передніх зрізів підстав тримачів лампи і конденсора.
2. Гвинтом (3) (рис. 2) встановити ширину щілини (2) (0,01 – 0,02 мм).
3. Натиском кнопки на пульті приладу включити ртутну лампу і дати їй прогрітись близько 15 хв.
4. За допомогою ручок, встановлених на корпусі приладу, відрегулювати в полі зору труби придатну освітленість показчика.
5. Ручкою (9) (кільце окуляра) сфокусувати показчик до чіткого зображення його вершини (шпичака).
6. Обертанням барабана (8) підвести до показчика дві жовті лінії спектра (дублет) і, обертаючи ручку (5), одержати їх різке зображення. На шкалі (6) цьому положенню відповідає відлік 10,0 (або близьке значення).
7. За допомогою ручки (3) (ширина щілини) добитися максимальної роздільної здатності приладу, тобто найбільш вузьких і чітких зображень спектральних ліній.
8. Повільно обертаючи барабан, підводити показчик з довгохвильового кінця спектра зліва до кожної лінії спектра, зазначеної в таблиці. При суміщенні показчика з лінією зняти відлік по барабану показчика, занести його в заздалегідь заготовлену табл. 2.1.
9. Дійшовши до супротивного кінця спектра (фіолетові лінії), повторити виміри, суміщаючи під час зворотнього ходу показчик з кожною лінією справа. За результат вимірів приймати середнє арифметичне  $\langle n \rangle$  двох вимірів за барабаном.

Таблиця 2.1

**Довжини хвиль спектральних ліній ртуті**

Колір лінії	Інтенсивність	$\lambda, \text{Å}$	Колір лінії	Інтенсивність	$\lambda, \text{Å}$
Червоний	1,2	6907	Жовт. –зел.	10	5461
	0,8	6716	Зелений	0,	4916
Оранжевий	1,0	6234	Синій	0,2	4358
	0,8	6123		0,6	4348
	0,3	6073		1,0	4339
Жовтий	10	5791	Фіолетовий	0,2	4108
	10	5790		0,4	4078
	2	5770		0,7	4047

Перед вимиканням лампи показати результати вимірів викладачеві.  
10. Накреслити графік градування монохроматора, вказавши номер приладу. По осі абсцис відкласти поділки барабана, а по осі ординат –  $\lambda$ .

Критерієм правильності побудови графіка є плавність кривої, відсутність зломів і перегинів.

Таблиця 2.

**Результати вимірювань**

Колір лінії	Довжина хвилі $\lambda, \text{Å}$	Відлік за барабаном, град		
		прямий хід $n_1$	зворотній хід $n_2$	середнє значення $\langle n \rangle$

**Завдання 2. Вимір спектра випромінювання лампи денного світла.**

1. Використання монохроматора за пп. 1 – 7 завдання 1.
2. За допомогою відбиваючої пластини спрямувати випромінювання лампи денного світла на щілину монохроматора.
3. Сумістити покажчик у полі зору з видимими лініями і зняти відлік за барабаном.

4. За допомогою графіка градуювання визначити в  $\lambda^0$  довжини хвиль цих ліній.
5. Використовуючи кольорові олівці, побудувати атлас цих ліній, вказавши поблизу кожної лінії її довжину хвилі.

### ***Завдання 3. Дослідження абсорбційних спектрів.***

1. Виконати градуювання монохроматора за пп. 1 – 7 завдання 1.
2. Замінити ртутну лампу лампою розжарювання, що дає суцільний спектр. Для цього, відвернувши гвинт у підставці тримача ртутної лампи, відсунути її праворуч до кінця рейки, а на її місце поставити лампу розжарювання, сумістивши з поміткою її передній край підставки тримача.
3. Розмістити на столику кювету з досліджуваною рідиною (витяжкою хлорофілу, розчином органічних барвників тощо).
4. Включити джерело світла і, і поволі обертаючи барабан монохроматора, визначити його поділку, при якій покажчик зорової труби співпадає з границями смуг поглинання. Виміри провести при прямому і зворотному проходженні всього спектра.
5. Вимкнути джерело світла і показати дані вимірів викладачеві.
6. Користуючись графіком градуювання, збудувати графік залежності поглинання від довжини хвилі світла.

### **Контрольні запитання**

1. Що називається оптичним спектром?
2. Які речовини є джерелами лінійчастих, смугастих і суцільних спектрів.
3. Чому розріджені гази випромінюють лінійчасті спектри?
4. Сформулюйте постулати Бора.
5. Чим відрізняються спектри поглинання від спектрів випромінювання?
6. Для чого в роботі використовують джерела з лінійчастими і суцільними спектрами випромінювання?
7. Як проводиться градуювання монохроматора?
8. Чи можна проградувати монохроматор, використовуючи тільки лампу розжарювання?

*Лабораторна робота №3*  
**ВИЗНАЧЕННЯ ДОВЖИНИ СВІТЛОВОЇ ХВИЛІ ЗА  
ДОПОМОГОЮ КІЛЕЦЬ НЬЮТОНА**

### 3.1. Мета роботи

Ознайомитись з явищем інтерференції і визначити довжину світлових хвиль за допомогою кілець Ньютона.

### 3.2. Теоретична частина

Інтерференція – явище накладання двох систем когерентних хвиль, при якому в деяких точках хвильового поля амплітуда результуючих коливань сильно зменшується, а в інших – зростає. Інтерференційна картина у вигляді послідовності темних і світлих концентричних кілець (кілець Ньютона) спостерігається тоді, коли світло падає на плоску поверхню плоско-опуклої лінзи з великим радіусом кривизни за умови, що опукла поверхня плоско-опуклої лінзи дотикається до плоскої поверхні добре відполірованої скляної пластинки. Таким чином, повітряний прошарок між ними поступово збільшується від точки дотику до краю.

Когерентні світлові хвилі, відбиті від нижньої поверхні лінзи і верхньої поверхні скляної пластинки накладаються і утворюють інтерференційну картину. Розподіл в просторі максимумів і мінімумів інтенсивності світла залежить від оптичної різниці ходу променів. Потрібно мати на увазі, що відбивання світла від більш густого середовища відбувається з втратою півхвилі тому при нормальному падінні (під прямим кутом до поверхні) оптичну різницю ходу  $\Delta$  визначають за формулою:

$$\Delta = 2dn + \frac{\lambda}{2}, \quad (3.1)$$

де  $d$  – товщина повітряного прошарку між пластинкою і нижньою поверхнею лінзи,  $n$  – коефіцієнт заломлення прошарку (для повітря  $n \approx 1$ ).

За умовою інтерференції максимальне підсилення має місце, коли оптична різниця ходу дорівнює парному числу півхвиль:

$$\Delta_{\max} = 2m \frac{\lambda}{2}, \quad (3.2)$$

а мінімальне – при оптичній різниці ходу, рівній непарному числу півхвиль:

$$\Delta_{\min} = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad (3.3)$$

де  $m = 0, 1, 2, 3, \dots$  – порядок максимуму (мінімуму).

З формул (3.1), (3.3) умова виникнення темних інтерференційних кілець Ньютона:

$$2dn = m\lambda. \quad (3.4)$$

Товщина повітряного прошарку можна знайти за формулою:

$$d = R - \sqrt{R^2 - r_m^2} \approx \frac{r_m^2}{2R}, \quad (3.5)$$

де  $R$  – радіус кривизни лінзи;  $r_m$  – радіус  $m$ -ого кільця.

Довжину хвилі світла можна визначити за формулами:

а) для темних кілець

$$\lambda = \frac{nr_m^2}{mR}; \quad (3.6)$$

б) для світлих кілець

$$\lambda = \frac{2nr_m^2}{(2m - 1)R}. \quad (3.7)$$

Підрахунок темних кілець починається від центра інтерференційної картини (темний диск,  $m = 0$ ). Підрахунок світлих кілець починається від першої світлої смуги ( $m = 1$ ).

### 4.3. Методика експерименту

Для вимірювання довжини хвилі світла в цій роботі використовують лабораторну установку (рис.3.1), що складається з плоско-опуклої лінзи (1) (радіус кривизни лінзи  $R = 52$  см), плоско паралельної пластинки (2), рухомого столика з мікрометричними гвинтами (3), джерела світла (4) з світлофільтром (5), скляною пластинкою – розщеплювачем променів 6 і мікроскопа (7).

Щільного прилягання лінзи до пластинки практично неможливо досягти, тому більш точний результат визначення довжини хвилі можна отримати за різницею радіусів  $r_i$  і  $r_k$  двох довільних світлих або темних кілець:

$$\lambda = \frac{n(r_i^2 - r_k^2)}{(i - k)R}. \quad (3.8)$$



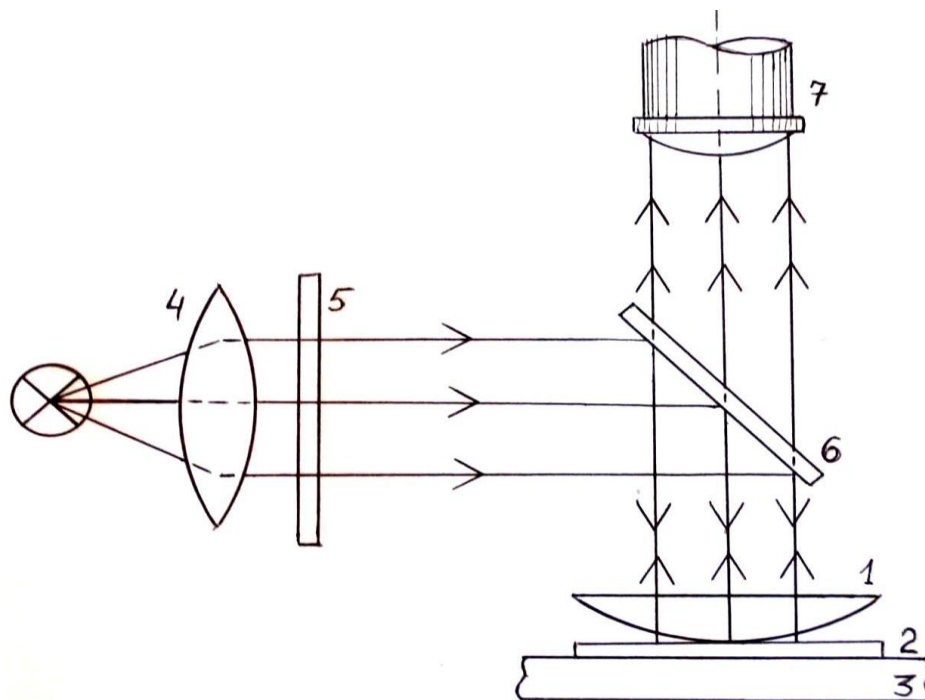


Рис. 3.1

### 3.4. Експериментальні дослідження

1. Перед виконанням лабораторної роботи розташувати джерело світла на відстані 15–20 см від лінзи (1), включити в електромережу і спрямувати світло на скляну пластинку (6), яка розташована під кутом  $45^{\circ}$  до горизонту.

2. Одержати чітке зображення кілець Ньютона переміщуючи тубус мікроскопа (7).

3. Встановити візирну нитку окуляра мікроскопа перпендикулярно до вибраного напрямку переміщення рухомого столика (зліва направо або зверху вниз).

4. З точністю до 0.1 мм виміряти діаметри двох темних або світлих кілець (наприклад, першого і сьомого). Для цього мікрометричним гвинтом перемістити рухомий столик з лінзою так, щоб візирна лінія дотикалась до потрібного кільця з лівого боку. Потім, переміщуючи столик у вибраному напрямку, підвести візирну лінію до того ж кільця з правого боку. Відліки записати в табл. 3.1.

5. Повернути окуляр з візирною лінією на  $90^{\circ}$  і провести вимірювання за п.4.

6. Підрахувати середні значення радіусів кілець і за формулами (3.6) – (3.8) обчислити довжину хвилі для відповідної пари кілець.

7. Визначити середнє значення довжини хвилі  $\bar{\lambda}$  і порівняти його з табличним значенням для використаного світлофільтра.

*Таблиця 3.1*

***Результати вимірювань***

Номер кільця	Відлік за шкалою		Діаметр кільця, мм	Середній радіус, мм	Довжина хвилі, нм

**Контрольні запитання**

1. Які хвилі називаються когерентними?
2. Що становить явище інтерференції?
3. Що становить явище дифракції?
4. Що таке оптична довжина шляху?
5. Як можна отримати кільця Ньютона?
6. Чим може бути спричинене викривлення кілець?
7. Якими будуть кільця Ньютона при освітленні білим світлом?
8. Що станеться, якщо сферичну лінзу замінити циліндричною?

**Додаток**

***Інтервали довжин хвиль (нм) і відповідні їм кольори видимої частини спектру***

Червоний	760 – 620	Голубий	500 – 480
Оранжевий	620 – 590	Синій	480 – 450
Жовтий	590 – 560	Фіолетовий	450 – 380
Зелений	560 – 500		

*Лабораторна робота №4*  
**ВИЗНАЧЕННЯ ДОВЖИНИ СВІТЛОВОЇ ХВИЛІ ЗА  
ДОПОМОГОЮ ДИФРАКЦІЙНОЇ РЕШІТКИ**

### 4.1. Мета роботи

Ознайомитись з явищем дифракції і визначити довжини світлових хвиль за допомогою дифракційної решітки.

### 4.2. Теоретична частина

В однорідному середовищі світло розповсюджується прямолінійно. Якщо на шляху світла з'являється перешкода, то спостерігається відхилення світла від прямолінійного розповсюдження – дифракція. *Дифракція* – явище огинання хвилями перешкод, розміри яких порівняні з довжиною хвилі. Поблизу перешкоди (екрана або щілини) фронт хвилі викривляється, хвиля розповсюджуються в область геометричної тіні (рис. 4.1) (якщо розміри перешкоди великі порівнянно з довжиною хвилі, то викривлення променів фактично не спостерігається).

В областях хвильового поля, які лежать за перешкодою, спостерігається інтерференція хвиль, що обгинають перешкоду.

Для вивчення явища дифракції, одержання дифракційних спектрів і визначення довжини хвиль використовують дифракційні решітки.

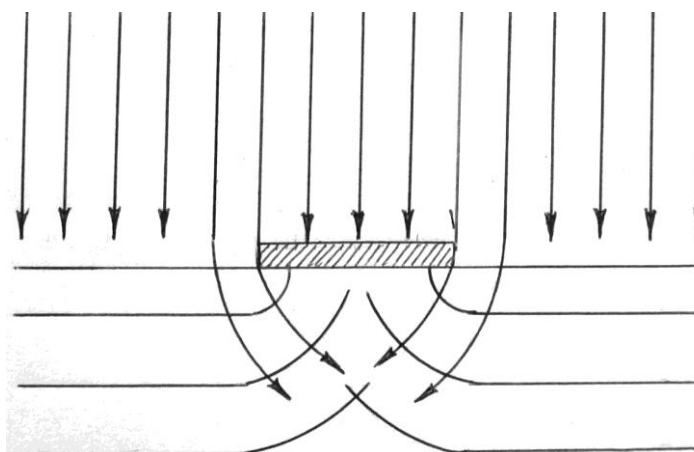


Рис. 4.1

Дифракційна решітка в найпростішому випадку – це прозора пластина, на якій на однаковій відстані нанесено велику кількість непрозорих штрихів однакової ширини. Дифракційна решітка

забезпечує більшу роздільну здатність та світлосилу порівняно з призматичними спектрометрами (монохроматорами).

Якщо на дифракційну решітку спрямувати паралельний пучок монохроматичного світла з довжиною хвилі  $\lambda$  (рис. 4.2), то на екрані, розміщеному в фокальній площині лінзи, буде спостерігатися дифракційна картина у вигляді декількох вузьких світлих смуг, відокремлених темними проміжками.

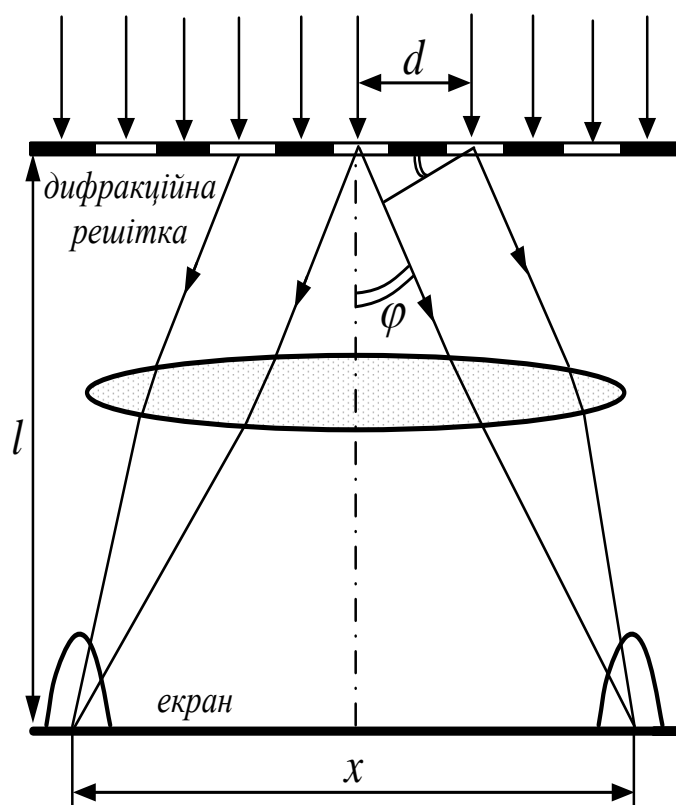


Рис. 4.2

Місцезнаходження дифракційних максимумів (світлих смуг) визначають за формулою

$$\sin \varphi_m = m \frac{\lambda}{d}, \quad (4.1)$$

де  $m$  – порядок максимуму ( $m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ );  $\lambda$  – довжина хвилі;  $d$  – стала (період) решітки;  $\varphi_m$  – кут дифракції, тобто кут відхилення променя від попереднього напрямку.

Центральний максимум, якому відповідає  $m = 0$ , найяскравіший. По обидві сторони від нього розташовуються правий ( $m = +1$ ) і лівий ( $m = -1$ ) максимуми першого порядку, потім правий ( $m = +2$ ) і лівий ( $m = -2$ ) максимуми другого порядку і т.д. Інтенсивність максимумів спадає із збільшенням  $m$ .

Якщо на решітку падає біле світло, то для того ж самого  $m$  кути дифракції  $\varphi_m$  будуть неоднаковими для різних довжин хвиль, що призводить до розкладання білого світла у спектр. При  $m = 0$  умова максимуму задовольняється для всіх довжин хвиль, тому при  $\varphi_m = 0$  спостерігається центральна біла смуга.

### 4.3. Методика експерименту

У лабораторній роботі дифракційні спектри отримують від двох вертикальних щілинних джерел світла, які зміщені по висоті та віддалені по горизонталі на відстань  $x$ . Джерела світла (щілини) розташовані симетрично щодо перпендикуляра до середини дифракційної решітки, тому співпадаючі лінії спектрів  $m$ -го порядку будуть видимі в напрямку цього перпендикуляра, а центральні спектри нульового порядку – під кутом  $\varphi_m$  до нього. Якщо відстань від дифракційної решітки до екрана з двома паралельними вертикальними щілинними джерелами, позначити через  $x$ , а відстань між щілинами – через  $\ell$ , то

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{x}{2\ell}. \quad (4.2)$$

Оскільки  $\ell \gg x$ , то кут  $\varphi$  мало відрізняється від  $\sin \varphi$  і  $\operatorname{tg} \varphi$ , так що

$$\sin \varphi \approx \operatorname{tg} \varphi \approx \frac{x}{2\ell}. \quad (4.3)$$

В умову (4.1) підставимо формулу (4.3) і одержимо:

$$\frac{x}{2\ell} = m \frac{\lambda}{d}. \quad (4.4)$$

З формули (4.4) знайдемо довжину світлової хвилі:

$$\lambda = \frac{d \cdot x}{2m\ell}. \quad (4.5)$$

### 4.4. Експериментальні дослідження

1. Ознайомтесь з лабораторною установкою.
2. Включіть лампу освітлювача і розгляньте дифракційні спектри від двох щілинних джерел, зміщених по висоті і віддалених по горизонталі на відстань  $x = 6$  см.

3. Переміщуючи дифракційну решітку сумістіть по вертикалі однакові ділянки (спочатку червону, потім зелену і синю) спектру першого порядку від лівої верхньої і правої нижньої щілини.
4. За допомогою масштабної лінійки виміряйте відстані  $\ell$  від дифракційної решітки до екрана з щілинами. Отримані дані занесіть у табл. 4.1.
5. Виконайте всі виміри за п.3,4 для спектра другого порядку.
6. Запишіть указаний на оправі дифракційної решітки її період  $d$ .
7. Отримані дані занесіть у табл. 4.1.

Таблиця 4.1

**Результати вимірювань**

Ділянка спектра	$m$	$x, м$	$\ell, м$	$\lambda, нм$	$\bar{\lambda}, нм$
Червона	1				
	2				
Зелена	1				
	2				
Синя	1				
	2				

8. Порівняйте одержані результати вимірювань довжин хвиль з даними, наведеними в додатку. Вкажіть на можливі причини розбіжностей.

**Контрольні запитання**

1. Сформулюйте принцип Гюйгенса.
2. Сформулюйте принцип Гюйгенса – Френеля
3. Які хвилі називаються когерентними?
4. Що становить явище інтерференції?
5. Що становить явище дифракції?
6. Що таке дифракційна решітка і для чого вона використовується?
7. На що впливає стала дифракційної решітки і як?
8. У чому перевага дифракційних спектрів перед дисперсійними (призматичними)?

**Додаток**  
**Інтервали довжин хвиль (нм) і відповідні**  
**їм кольори видимої частини спектра**

Червоний	760 – 620	Голубий	500 – 480
Оранжевий	620 – 590	Синій	480 – 450
Жовтий	590 – 560	Фіолетовий	450 – 380
Зелений	560 – 500		

**Лабораторна робота № 5**  
**ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ЦУКРОВОГО РОЗЧИНУ**

**5.1. Мета роботи**

Визначення питомої активності цукру та концентрації цукро-вого розчину за допомогою цукрометра.

**5.2. Теоретична частина**

*Природне світло* являє собою сукупність хвиль, що випромінюються безліччю атомів і молекул джерела світла. Коливання світлових векторів відбуваються в різних напрямках, тому площини їхніх коливань постійно змінюють свій напрямок у просторі.

Якщо напрямки коливань світлового вектора упорядковані яким-небудь чином, то світло називається *поляризованим*. За деяких умов можна одержати світло, у якому площина коливань вектора  $E$  займає постійне розміщення в просторі. Таке світло називається *пласкополяризованим*. Площина, в якій відбуваються коливання вектора  $E$ , називається *площиною поляризації*.

Око не відрізняє природне світло від поляризованого, але є цілий ряд явищ, властивих тільки поляризованому світлу, завдяки яким воно і проявляється. Поляризоване світло можна одержати з природного за допомогою *поляризаторів* (призма Ніколя, поляроїд та ін.). Поляризатори пропускають коливання, паралельні тільки одній (головній) площині, і повністю затримують коливання, перпендикулярні до цієї площини.

Щоб визначити, чи є світло після проходження поляризатора дійсно пласкополяризованим, на шляху променів ставлять другий

поляризатор, що називають *аналізатором*, указуючи цим, що він використовується не для одержання аналізу поляризованого світла.

Припустимо, що вектор  $E$  поляризованої світлової хвилі коливається в площині, що утворює кут  $\varphi$  з головною площиною аналізатора. Амплітуду  $E$  цих коливань можна розкласти на дві взаємно перпендикулярні складові:  $E_1$  – паралельну головній площині аналізатора і  $E_2$  – перпендикулярну їй

$$E_1 = E \cdot \cos \varphi; \quad E_2 = E \cdot \sin \varphi. \quad (5.1)$$

Перша складова коливань проходить крізь аналізатор, друга буде ним затримана. Інтенсивність світла пропорційна квадрату амплітуди; отже, інтенсивність світла  $I$ , що проходить через аналізатор, пропорційна квадрату амплітуди (закон Малюса), тобто:

$$I = E_1^2 = I_0 \cos^2 \varphi, \quad (5.2)$$

де  $I_0$  = інтенсивність поляризованого світла, що падає на аналізатор;  $\varphi$  – кут між площиною поляризації падаючого світла і площиною аналізатора.

Якщо площини поляризатора і аналізатора паралельні ( $\alpha = 0, \pi$ ), то, розміщений за аналізатором екран, буде максимально освітленим. Якщо ж поляризатор і аналізатор схрещені ( $\varphi = \pi/2, 3\pi/2$ ), то екран буде темним.

Під час проходження лінійно поляризованого світла через так звані *оптично активні* речовини відбувається поворот площини поляризації на певний кут. До оптично активних речовин належать кристалічні тіла (кварц, кіновар), чисті рідини (скипидар, нікотин) і ряд розчинів складних органічних сполук (водяні розчини цукру, винної кислоти та ін.)

Внаслідок взаємодії з молекулами несиметричної структури такої речовини лінійно поляризоване світло поділяється на дві частини. Промені однієї частини поляризовані по колу за годинниковою стрілкою, другої – проти стрілки. При виході з речовини світло знову стає лінійно поляризованим. Оскільки під час проходження через речовину промені з коловою поляризацією мають різні швидкості, а отже, і різні фази коливань, то на виході з речовини результуючий лінійно поляризований промінь матиме площину поляризації, повернену на деякий кут порівняно з падаючим променем. Значення кута обертання площини поляризації при проходженні через таку речовину залежить від



різниці швидкостей поширення поляризованих по колу променів, товщини шару речовини та, незначною мірою, від температури.

У оптично активних розчинах кут  $\varphi$  обертання площини поляризації пропорційний довжині шляху  $l$  променя в розчині і концентрації  $c$  розчину:

$$\varphi = \alpha \cdot c \cdot l, \quad (5.3)$$

де  $\alpha$  – питома оптична активність. Вона обернено пропорційна квадрату довжини хвилі, залежить від природи речовин і температури і чисельно дорівнює збільшеному в 100 разів куту обертання площини поляризації шаром розчину товщиною 10 см при концентрації речовини 1г на 100 см<sup>3</sup> розчину, температурі 20<sup>0</sup>С і довжині хвилі світла 589 нм. Питома оптична активність цукру дорівнює 0,665 град м<sup>2</sup> /кг.

При проходженні білого поляризованого світла через розчин оптично активної речовини площини поляризації хвиль різної довжини (різного кольору) будуть повертатися на різні кути, тому в залежності від розташування аналізатора через нього будуть проходити промені різного забарвлення. Це явище називається *обертальною дисперсією*.

Якщо між поляризатором і аналізатором, площини поляризації яких взаємно перпендикулярні, помістити кювету з розчином оптично активної речовини, то поле зору просвітлюється. Щоб знову одержати цілком затемнене поле зору, необхідно аналізатор повернути на кут  $\varphi$  обертання площини поляризації світла під час проходження через кювету з розчином. Знаючи питома обертання даної речовини і довжину кювети, можна визначити концентрацію розчину:

$$c = \frac{\varphi}{\alpha \cdot l}. \quad (5.4)$$

Метод, що застосовується під час якісного і кількісного аналізу різних речовин за допомогою поляриметра, називається *поляриметриєю*. Він широко використовується в харчовій, хімічній та інших галузях промисловості для визначення ступеня оптичної активності рідин і розчинів і зв'язаних з ним фізико-хімічних властивостей даних речовин, в медицині і біології (наприклад, для визначення оптичної активності сироваткових білків з метою діагностики рака), у клінічній практиці (наприклад, для кількісного

визначення вмісту цукру в сечі). Поляриметр, що використовується для цього, називається *цукрометром*

### 5.3. Методика експерименту

У роботі використовується медичний цукрометр типу СМ, зовнішній вигляд якого зображений на рис. 5.1, а оптична схема приладу – на рис. 5.2.

Джерелом світла в цукрометрі є лампа розжарювання *Л*. Світло від лампи падає на фільтр  $\Phi$  і об'єктив *О*. Отримане монохроматичне світло проходить через поляризатор *П*, кювету *Т* з розчином і аналізатором *А*. Як поляризатор і аналізатор в приладі використовуються *поляроїди*. Після аналізатора світло проходить через об'єктив *Об* і окуляр *Ок* зорової труби цукрометра, яка призначена для візуального спостереження поля зору.



Рис. 5.1

Внаслідок адаптації ока візуального важко оцінювати абсолютну освітленість. У той же час легко порівнювати освітленість різних частин поля зору. Для поділу поля зору на частини в цукрометрі безпосередньо за поляризатором розташована тонка кварцова пластинка *Кв*, через яку проходить середня частина пучка поляризованого світла, що вийшло з поляризатора.

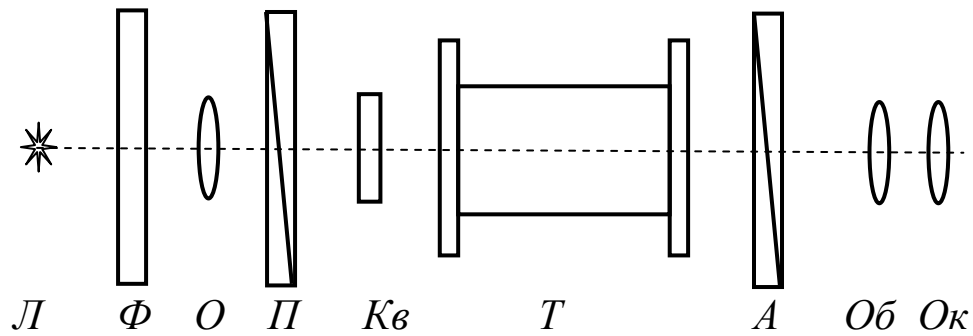


Рис. 5.2

При такому розташуванні кварцової пластинки поле зору цукрометра виявляється розділеним на три частини. Середня частина опромінюється світлом, що пройшло через поляризатор, кварцову пластинку і аналізатор, а дві крайні частини поля зору – світлом, що пройшло через поляризатор і аналізатор. Оскільки кварц є оптично активною речовиною, то після проходження поляризованого світла через пластинку його площина поляризації повертається на деякий кут (рис. 5.3).

Обертаючи аналізатор, можна одержати рівномірно освітлене поле зору. Це буде відбуватися у двох станах аналізатора:

- 1) площина  $AA$  аналізатора збігається з бісектрисою кута між напрямками коливань у середній і крайній частинах поля зору (рис. 5.4);

2) площина аналізатора перпендикулярна бісектрисі кута між напрямками коливань (рис. 5.5). У першому випадку яскравість поля зору буде більшою, в другому – меншою. Для забезпечення більшої чутливості під час роботи із цукрометром варто зрівнювати частини поля зору при меншій яскравості.

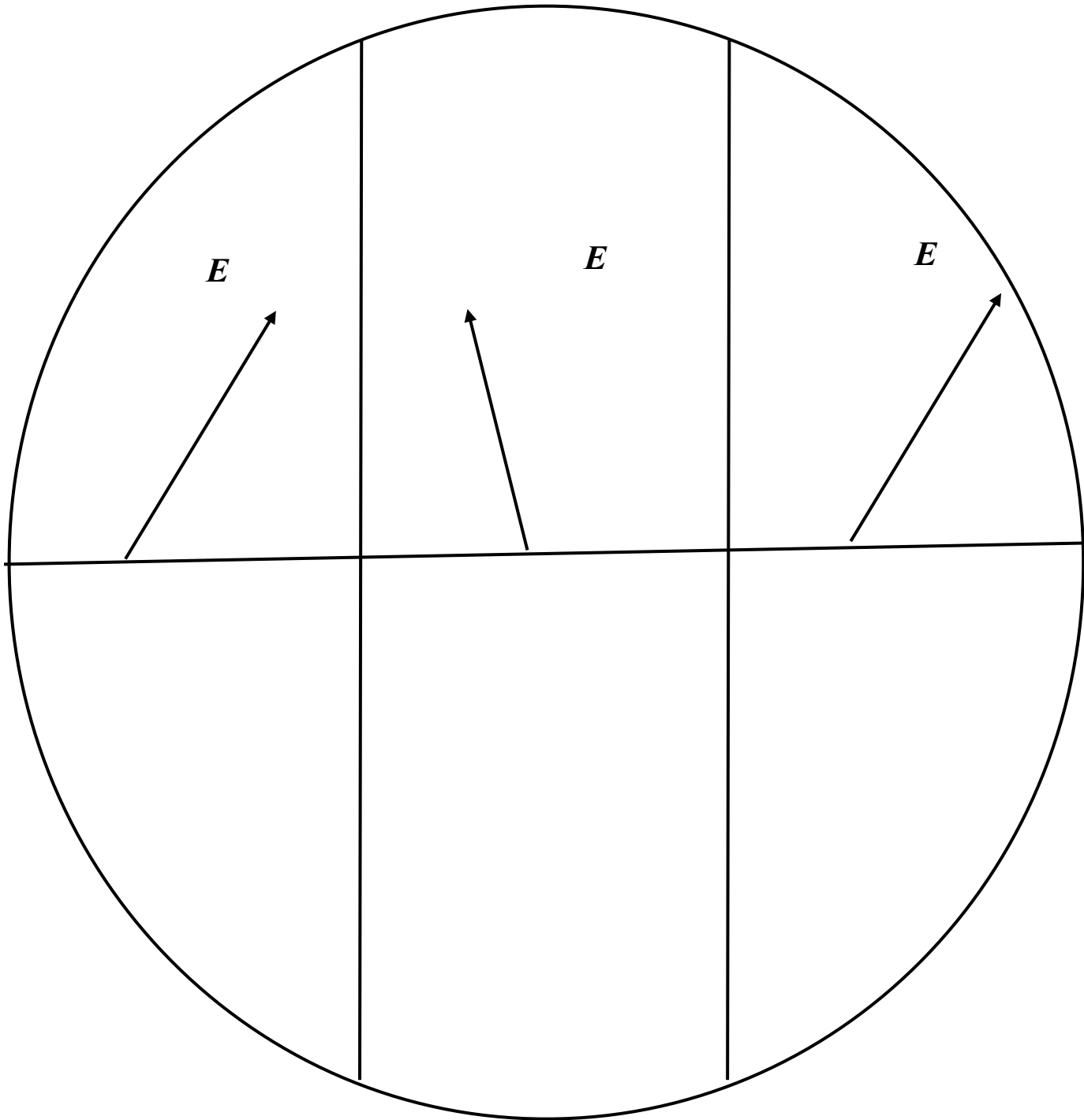


Рис. 5.3

Якщо установити аналізатор на рівну освітленість усіх частин поля зору, а потім помістити між поляризатором і аналізатором трубку з розчином цукру, то рівність освітленостей середньої і крайньої частин поля зору порушиться. Це відбувається внаслідок того, що у всіх частинах поля зору площина коливання світлового вектора повернеться на той самий кут  $\varphi$  (рис. 5.6). Для відновлення рівності освітленостей необхідно повернути аналізатор на такий же кут  $\varphi$ , що дорівнює куту обертання площини поляризації світла при проходженні ним розчину цукру.

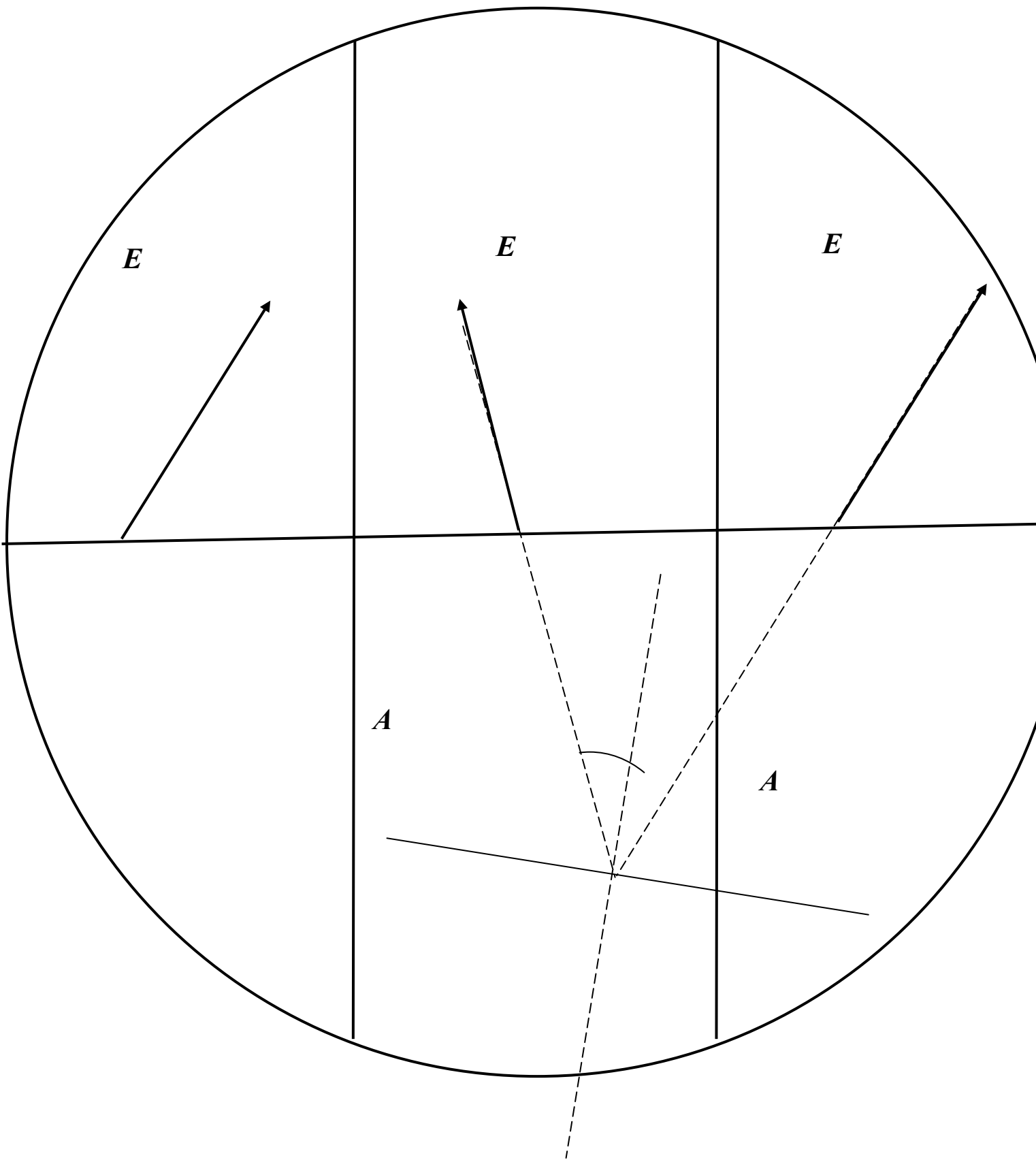


Рис. 5.5

У медичних цукрометрах відлік кута обертання аналізатора в градусах безпосередньо дає значення і концентрації розчину глюкози в грамах на 100 см<sup>3</sup> (%). Це досягається відповідним підбором довжини трубки (для глюкози  $l = 1,89$  дм).

#### 5.4. Експериментальні дослідження

1. Підключити до електричної мережі і ввімкнути освітлювач цукрометра (рис. 5.1).
2. Переміщуючи муфту окуляра зорової труби (2), встановити окуляр на чітку видимість поділяючих ліній потрійного поля зору.
3. Обертаючи фрикціон (5), одержати рівномірне затемнення трьох частин поля зору. При цьому шторка (4) на з'єднувальній трубці приладу повинна бути закрита.
4. Зняти відлік по лівому ноніусу приладу. Вимірювання провести тричі і знайти середнє значення  $\bar{n}_0$ .
5. Вставити в сахариметр трубку довжиною  $l_1$  з розчином цукру відомої концентрації  $c_1$ .
6. Обертаючи фрикціон, знову одержати рівномірне затемнення трьох частин поля зору і зняти відлік  $n$ .
7. Вимірювання, повторити тричі і обчислити середнє значення  $n$ .
8. Кут повороту площини поляризації визначити за формулою:

$$\varphi = \bar{n} - \bar{n}_0. \quad (5.5)$$

9. Питому оптичну активність розчину цукру розрахувати за формулою:

$$\alpha = \frac{\varphi}{c_1 \cdot l}. \quad (5.6)$$

10. Отримані дані вимірів і розрахунків занести в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1

#### Результати вимірів і розрахунків

$l_1 = \dots\dots\dots\text{см}; \dots\dots\dots c_1 = \dots\dots\dots\%$					
$n_0, \text{град}$	$\bar{n}_0, \text{град}$	$n, \text{град}$	$\bar{n}, \text{град}$	$\varphi_1, \text{град}$	$\alpha, \frac{\text{град} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}}$

--	--	--	--	--	--

11. Вставити в цукрометр трубку довжиною  $l_2$  з розчином цукру невідомої концентрації  $c_2$  і, повторивши операції п. 6 – 8, визначити кут  $\alpha_2$ .

12. Обчислити концентрацію розчину цукру за формулою:

$$c_2 = \frac{\varphi_2}{\alpha \cdot l}. \quad (5.7)$$

13. Отримані дані занести в табл. 5.2.

Таблиця 5.2

**Результати вимірювань і розрахунків**

$n_0, \text{град}$	$\bar{n}_0, \text{град}$	$n, \text{град}$	$\bar{n}, \text{град}$	$\varphi_2, \text{град}$	$c_2, \%$

**Контрольні запитання**

1. Що таке природне і поляризоване світло?
2. Як можна визначити, що світло поляризоване?
3. Сформулюйте закон Малюса.
4. Вкажіть способи одержання поляризованого світла.
5. Нарисуйте хід променів у призмі Ніколя
6. Які речовини називаються оптично активними?
7. Нарисуйте оптичну схему поляриметра.
8. Для чого в поляриметрах поділяють поле зору?
9. Де і для чого використовуються поляриметри?

*Лабораторна робота № 6*

**ДОСЛІДЖЕННЯ НАПІВПРОВІДНИКОВОГО  
ФОТОЕЛЕМЕНТА**

**6.1. Мета роботи**

Визначення інтегральної чутливості напівпровідникового фотоелемента.



## 6.2. Теоретична частина

Безпосередніми перетворювачами енергії світла в електричну енергію є напівпровідникові вентильні фотоелементи. Дія цих приладів базується на явищі фотоефекту. *Фотоефектом* (зовнішнім) називається випромінювання електронів речовиною під дією світла. Фотоефект описується рівнянням Ейнштейна:

$$h\nu = A + W^{kin}, \quad (6.1)$$

де  $h\nu$  – енергія фотона,  $A$  – робота виходу електрона з металу,  $W^{kin}$  – кінетична енергія електрона.

Під час внутрішнього фотоефекту у напівпровідниках та діелектриках відбувається лише збільшення кількості вільних електронів у речовині.

Принцип дії вентильного фотоелемента і схему його підключення в електричне коло можна зрозуміти з рис. 6.1.

Схематично вентильний фотоелемент можна уявити у вигляді двох щільно притиснутих один до одного матеріалів з різними типами провідності (рис. 6.1). Внаслідок контакту виникає дифузія електронів із напівпровідника n-типу (або провідника, що завжди має електронну провідність) у напівпровідник р-типу і дифузія дірок – у зворотному напрямі. У результаті цього примежовий шар з боку напівпровідника n-типу заряджається позитивно, а з боку напівпровідника р-типу – негативно, тобто в зоні контакту виникає подвійний електричний шар невеликої товщини, який називається *електронно-дірковим переходом* (рис.6.1). Електричне поле цього переходу не дозволяє зарядам обох знаків зміщуватися в зворотному напрямі.

Металічна пластинка (1) з нанесеним на ній тонким шаром напівпровідника (2) разом з мікроамперметром (4) створюють замкнуте електричне коло. У зоні контакту напівпровідника з металом виникає запірний шар (3) з вентильною провідністю, що пропускає заряди тільки в одному напрямі. При освітленні фотоелемента в напівпровідниковому шарі завдяки внутрішньому фотоефекту з'являються вільні електрони і дірки.

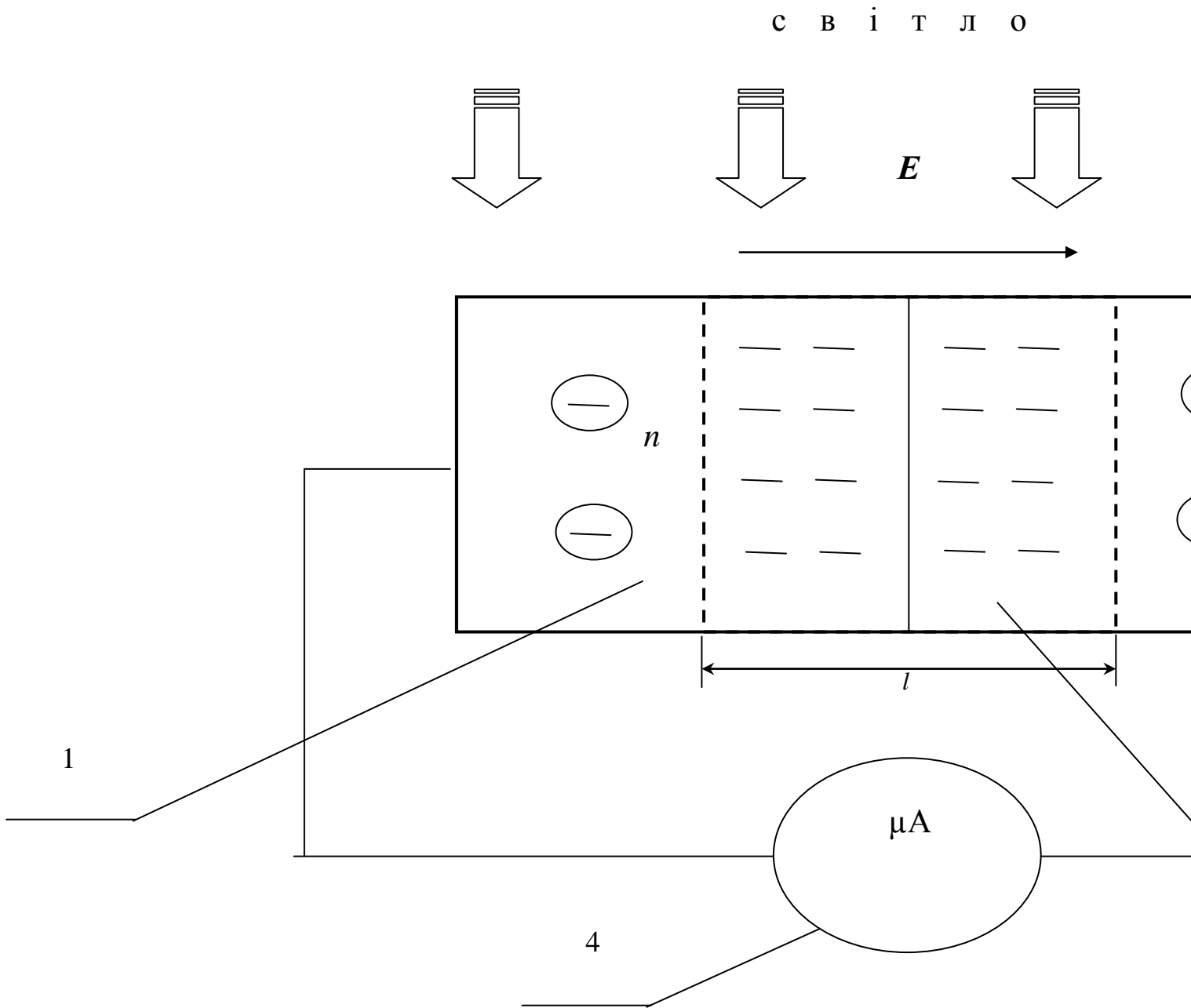


Рис. 6.1

У процесі теплового руху електрони проходять через електронно-дірковий перехід у метал і створюють в ньому надлишковий від'ємний заряд, у той час як у напівпровіднику залишається додатній заряд дірок.

Виникаюча між напівпровідником і металом електрорушійна сила порядку кількох десятих вольт створює струм у колі фотоелементу. Сила фотоструму  $I_\phi$  прямо пропорційна світловому потоку  $\Phi$ , що падає на поверхню фотоелемента,

$$I_{\phi} = \eta \cdot \Phi, \quad (6.2)$$

де  $\eta$  – інтегральна чутливість фотоелемента, яка дорівнює відношенню сили фотоструму до величини світлового потоку нормального спектрального складу.

### 6.3. Методика експерименту

Схема установки показана на рис 6.2. Фотоелемент (1) нерухомо укріплено в металевій трубці (2), яка захищає його від зовнішнього освітлення.

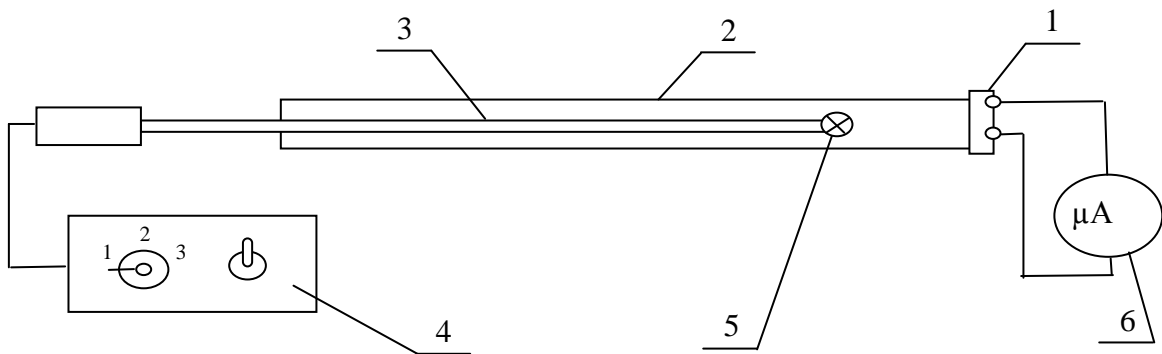


Рис. 6.2

У трубці на рухливому, штоку (3) знаходиться електрична лампочка (5), що живиться струмом від випрямляча з регулятором напруги (4).

На штоці є поділки, що дозволяють визначати відстань від лампочки до поверхні фотоелемента. Величину фотоструму вимірюють мікроамперметром (6), що підключений до виводів фотоелемента.

Падаючий на фотоелемент світловий потік  $\Phi$  визначають за формулою

$$\Phi = E \cdot S, \quad (6.3)$$

де  $E$  – освітленість;  $S = \pi d^2/4$  – площа чутливого шару фотоелемента,  $d$  – діаметр його поверхні.

Освітленість поверхні фотоелемента знаходиться за формулою:

$$E = \frac{I}{\ell^2} \cdot \cos \alpha, \quad (6.4)$$

де  $I$  – сила світла лампочки накаливання;  $\ell$  – відстань від лампочки до поверхні фотоелемента,  $\cos\alpha = 1$  тому, що промені падають перпендикулярно до поверхні фотоелемента. З формул (6.3) і (6.4) випливає

$$\Phi = E \cdot S = \frac{I}{\ell^2} \cdot S. \quad (6.5)$$

Інтегральна чутливість фотоелемента буде визначатися за формулою

$$\eta = \frac{I_{\phi} \cdot \ell^2}{I \cdot S}. \quad (6.6)$$

#### 6.4. Експериментальні дослідження

1. Встановити лампочку на максимальній відстані від фотоелемента. Включити живлення електролампи (блок 4).
2. Записати показання мікроамперметра і відстань від лампочки до фотоелемента.
3. Послідовно переміщуючи шток з лампочкою на 5 см, повторювати п. 2 до досягнення максимального фотоструму.
4. Двічі повторивши п. 1 – 3 (без вимикання живлення лампи), визначити для кожної відстані від лампочки до фотоелемента середні значення фотоструму і записати в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

#### Результати вимірювань

Відстань $\ell$ , см	Сила струму $I_{\phi}$ , мкА		Освітлен- ність Е, лк	Світло- вий потік Φ, лм	Чутливість фото- елементу	
	напря́м руху штока					середнє значення
	пря- мий	зворот- ний				

5. Для кожного середнього значення фотоструму вирахувати за формулою (6.6) чутливість фотоелемента. Значення  $I$  та  $d$  вказані на станині установки.
6. За формулами (6.4) і (6.5) для кожної відстані підрахувати освітленість та світловий потік.

7. Побудувати графік залежності  $I_{\phi} = f(\Phi)$  і по ньому за формулою (6.7) визначити інтегральну чутливість фотоелемента.

### Контрольні запитання

1. У чому полягає суть явища фотоелектричного ефекту?
2. Чим відрізняються зовнішній та внутрішній фотоелектричні ефекти?
3. Сформулюйте основні закони зовнішнього фотоелектричного ефекту.
4. Що таке червона границя фотоелектричного ефекту?
5. Опишіть будову і роботу напівпровідникових фотоелементів.

### Лабораторна робота №7

## ВИЗНАЧЕННЯ СТАЛОЇ СТЕФАНА - БОЛЬЦМАНА

### 7.1. Мета роботи

Вивчення законів теплового випромінювання та визначення сталої Стефана – Больцмана за пірометричним методом.

### 7.2. Теоретична частина

Для визначення нагрітих до високих температур тіл ( $800^{\circ}\text{C}$  та вище) використовують пірометричні методи, які засновані на законах випромінювання так званого абсолютно чорного тіла (законі Стефана – Больцмана або Віна). Повна випромінювальна здатність (енергетична світність) абсолютно чорного тіла  $R_T^*$  при температурі  $T$  визначається за законом Стефана – Больцмана

$$R_T^* = \sigma T^4, \quad (7.1)$$

де  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Дж}/(\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{Т}^4)$  – стала Стефана - Больцмана.

Реальні фізичні тіла, маючи меншу поглинальну здатність  $a_T$ , ніж в абсолютно чорного тіла ( $a_T^* = 1$ ), мають також і меншу випромінювальну здатність при тій же температурі, тобто

$$R_T = a_T \cdot R_T^*. \quad (7.2)$$

Довжина хвилі, на яку припадає максимум спектральної випромінювальної здатності абсолютно чорного тіла, визначається за законом зміщення Віна

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T_{\max}}, \quad (7.3)$$

де стала Віна  $b = 2,896 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}^{-1}$ .

Якщо в спектрі випромінювання тіла знайти температуру максимуму спектральної випромінювальної здатності, то за законом зміщення Віна можна визначити температуру тіла. Тому цей закон широко застосовується для вимірювання високих температур як у земних умовах, так і для вимірювання температур віддалених космічних тіл. Методи визначення температури тіл, засновані на законах теплового випромінювання, називаються *оптичною пірометрією*, а самі прилади – пірометрами.

Найбільш поширеними, особливо в промислових вимірюваннях, є *пірометри із зникаючою ниткою*. За допомогою цих пірометрів визначення температури базується на безпосередньому порівнянні яскравості випромінювання тіла в певній області спектра з яскравістю еталонного джерела в тій самій області. Еталонне джерело світла попередньо градуйоване за випромінюванням абсолютно чорного тіла. Визначена таким чином температура називається *яскравісною температурою*. Яскравісна температура довільного нечорного тіла – це така температура, яку воно мало б, випромінюючи у даній спектральній області як абсолютно чорне тіло, тобто вона завжди нижча за дійсну температуру тіла.

### 7.3. Методика експерименту

Експериментальна установка складається з двох незалежних частин (рис. 7.1): лампи розжарювання з електричним колом живлення та пірометра ОППР-017. Загальний вигляд пірометра із зникаючою ниткою ОППР-017 який має власне коло електричного живлення показано на рис. 7.2, де: 1 – витяжний тубус об'єктива (*Об*); 2 – корпус; 3 – поворотна ручка поглинаючого фільтра (*ФП*); 4- поворотне кільце (движок реостата пірометра)  $R_2$  на рис. 7.1); 5 – направляюча трубка тубуса об'єктива; 6 – поворотна обойма червоного світлофільтра (*ФЧ*); 7 – витяжний тубус окуляра (*Ок*); 8 – кожух рукоятки.

За допомогою тубуса об'єктива *Ок* (рис.7.1) зображення світної нитки лампи розжарювання  $L_1$  суміщається в одній площині з ниткою розжарення еталонної лампи  $L_2$  розташованої у фокальній площині

об'єктива  $Об$  пірметра. Обидві нитки розглядаються через окуляр  $Ок$ , а у разі потреби – через світлофільтр  $ФЧ$ , який пропускає червоне

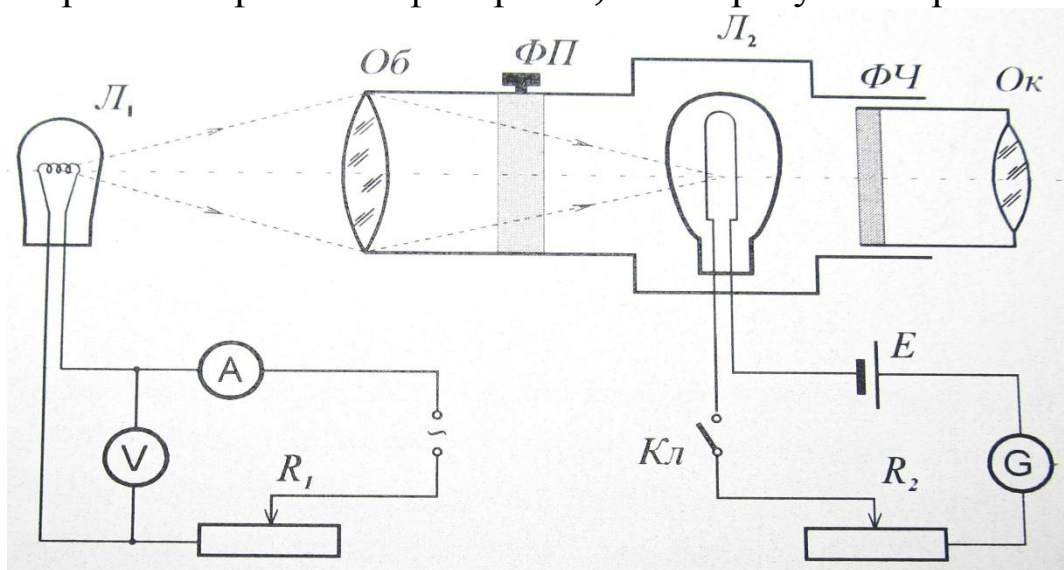


Рис. 7.1

світло з довжиною хвилі 660 нм. Яскравість розжарення нитки лампи  $Л_1$  можна змінювати за допомогою реостата  $R_1$ , а еталонної лампи  $Л_2$  – реостатом  $R_2$  пірметра. Якщо розглядати обидві нитки як абсолютно чорні тіла, то можна стверджувати, що при збіжності яскравостей ниток ламп  $Л_1$  і  $Л_2$  їх температури однакові.

Кільцевий реостат  $R_2$  пірметра (рис. 7.1) вмонтований у кришку приладу. При повороті кільця за напрямком нанесеної на ньому стрілки справа наліво електричний опір кола живлення лампи  $Л_2$  зростає, а яскравість світіння її нитки зменшується.

Поглиняльний фільтр  $ФП$  використовується для визначення необхідного діапазону виміру температури. Його вводять в поле зору за допомогою поворотної головки (3) (рис. 7.2) при відліку температури за шкалою 1200 – 2000 °С. Без цього фільтра вимірюють більш низькі температури, користуючись шкалою 800 – 1400 °С. Поглиняльний фільтр буде введеним під час суміщення білої точки на поворотній головці (3) з червоною точкою на корпусі 2 пірметра і не введеним – під час збіжності з зеленою точкою.

Червоний світлофільтр  $ФЧ$  закріплено в поворотній обоймі (6) з карбованою поверхнею. Поворотом обойми світлофільтр виводять з поля зору за малою яскравості, коли вимірюються низькі температури (менше 900 °С).

У коло живлення лампи  $Л_1$  (рис 7.1) підключені амперметр  $A$  і вольтметр  $V$ , відліки за якими відповідно струму  $I$  та напруги  $U$

використовують для розрахунку споживання від електричної мережі потужності:

$$P = I \cdot U. \quad (7.4)$$

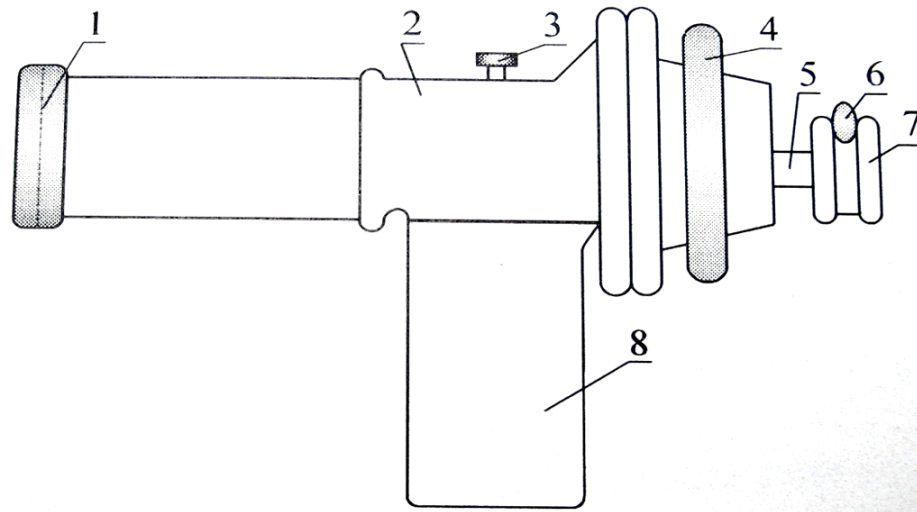


Рис. 7.2

Нехтуючи втратами енергії на теплопровідність та вважаючи нитку абсолютно чорним тілом, можна записати, що енергія електричного струму перетворюється у внутрішню енергію нитки. Тоді

$$P = \sigma(T^4 - T_0^4), \quad (7.5)$$

де  $T$  – температура розжарення нитки лампи  $L_1$ ;  $T_0$  – температура середовища.

Оскільки  $T_0$  значно менше  $T$ , то з урахуванням (7.4):

$$P = \sigma T^4, \quad (7.5)$$

звідки знаходимо сталу Стефана – Больцмана (7.6):

$$\sigma = \frac{P}{T^4} = \frac{I \cdot U}{T^4}. \quad (7.6)$$

За законом Кірхгофа, потужність випромінювання реального тіла завжди менше, ніж для абсолютно чорного тіла при тій же самій температурі, то пірометром при порівнянні яскравостей ниток буде виміряна дещо занижена **яскравісна температура  $T_{я}$** . Гальванометр **G** проградуйовано по абсолютно чорному тілу і відлік по ньому відповідає  **$T_{я}$** . Для визначення дійсної температури тіла  $T$  треба знати параметри випромінюючої поверхні тіла (для вольфраму в діапазоні температур 800 – 2000 °С коефіцієнт «сірості»  $A_T = 0,24 - 0,37$ ) і використати закони теплового випромінювання або, як у цій роботі, скористатися



перевідною табл. 7.1. Знаючи  $T$  за формулою (7.6) можна визначити сталу Стефана – Больцмана  $\sigma$ .

#### 7.4. Експериментальні дослідження

1. За допомогою реостата  $R_1$  довести спіраль досліджуваної лампи  $L_1$  до слабого світіння.
2. Повернути в крайнє ліве положення кільце движка реостата 4 (рис. 7.2).
3. Підключити (ключ  $K_1$  на рис. 7.1) джерело живлення пірометра і повільно обертати кільце реостата пірометра  $R_2$  до появи слабого світіння нитки лампи пірометра  $L_2$ . Фокусування нитки виконувати переміщенням окуляра  $Ок$ .
4. Навести пірометр на нитку досліджуваної лампи і переміщенням об'єктива  $Об$  домогтися її чіткого зображення.
5. Обертати кільце реостата пірометра до одержання однакової яскравості світіння нитки досліджуваної лампи і нитки лампи пірометра. Зробити виміри за амперметром, вольтметром та пірометром і записати в табл. 7.2.
6. Збільшуючи за допомогою реостата  $R_1$  розжарення нитки досліджуваної лампи  $L_1$ , виконати операції за п. 7 не менше п'яти разів. Під час вимірювання високих температур ввести в поле зору поглинальний фільтр  $\Phi П$ .

Таблиця 7.2

#### Результати вимірювань

Пор №	Сила струму $I, A$	Напруга $U, V$	Температура		Потужність, $P, Вт$	Стала Стефана – Больцмана, $\sigma, Вт/м^2К^4$
			$T_{яскр}К$	ТК дійсна		
1						
2						
3						
4						
5						

7. Для кожного значення вимірної температури лампи  $L_1$  підрахувати за формулою (7.4) з точністю до 0,1 Вт потужність живлення  $P$  і за формулою (7.6) сталу Стефана – Больцмана  $\sigma$ .

Таблиця 7.3

**Порівняння яскравісної та дійсної температур для вольфраму**

Температура, °С		Температура, °С	
яскравісна $T_{я}$	дійсна $T$	яскравісна $T_{я}$	дійсна $T$
800	844	1300	1395
900	952	1400	1507
1000	1061	1600	1736
1100	1072	1800	1968
1200	1283	2000	2203

**Контрольні запитання**

1. Яке випромінювання називається тепловим і чому його відмінність від інших видів випромінювання?
2. Основні характеристики теплового випромінювання.
3. Якими законами описується випромінювання абсолютно чорного тіла?
4. Який фізичний зміст сталої Стефана -Больцмана?
5. Що таке яскравісна температура тіла?
6. У якому діапазоні довжин хвиль перебуває випромінювання тіла людини?

*Лабораторна робота № 8***8. ВИЗНАЧЕННЯ СТАЛОЇ ПЛАНКА****8.1. Мета роботи**

Вивчення законів фотоелектричного ефекту і визначення сталої Планка.

**8.2. Теоретична частина**

Фотоелектричним ефектом (зовнішнім) називається явище виривання електронів з речовини під дією світла. Зовнішній фотоелектричний ефект – явище, в якому проявляються корпускулярні властивості світла.

Зовнішній фотоелектричний ефект було відкрито у 1887 р. Г. Герцем.

У 1888 р. О. Г. Столетов на приладі, що приведений на рис. 8.1, експериментально встановив закони фотоелектричного ефекту:

1. Фотострум насичення (тобто максимальна кількість електронів, які вилетіли з металу за 1 с) прямо пропорційний світловому потоку  $\Phi$ , який падає на метал і не залежить від частоти світла (рис. 8.2).

2. Кінетична енергія фотоелектронів пропорційна частоті світла і не залежить від світлового потоку  $\Phi$ .

3. Незалежно від інтенсивності світла фотоелектр ефект починається тільки при мінімальній (для даної речовини) частоті світла  $\nu_{\min}$ , яка називається «червоною межею» фотоелектр ефекту. Ця мінімальна частота співпадає з максимальною довжиною хвилі  $\lambda_{\max} = c/\nu_{\min}$ , яка називається червоною межею фотоелектр ефекту (рис. 8.3).

На зовнішньому фотоелектр ефекті побудована робота вакуумного фотоелемента. Шар металу, який нанесений на внутрішню поверхню відкачаного скляного балона, виконує роль катода. Анод має вигляд металевого кільця або кулі, розташованого у центральній частині балона. На рис. 8.1 доведена електрична схема, за допомогою якої можна вивчати зовнішній фотоелектр ефект. Негативний полюс батареї приєднаний до катода  $K$  фотоелемента, позитивний до анода  $A$ . Електроди поміщені у відкачану посудину, з прозорим вікном для оптичного випромінювання.

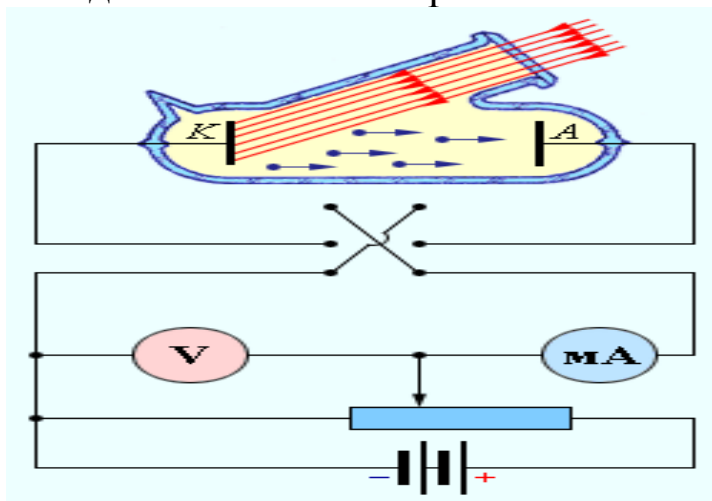


Рис.8.1

Під час освітлення катода в колі з'являється струм. Залежність сили струму від напруги (вольт-амперні характеристики) наведені на рис. 8.2, 8.3.

Видно, що при зростанні різниці потенціалів між анодом і катодом фотострум спочатку зростає, а потім сягає максимального значення (струму насичення).

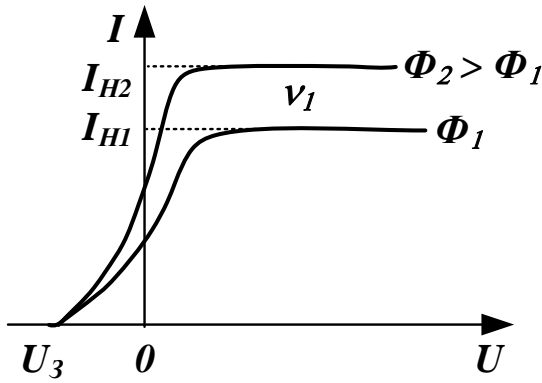


Рис.8.2

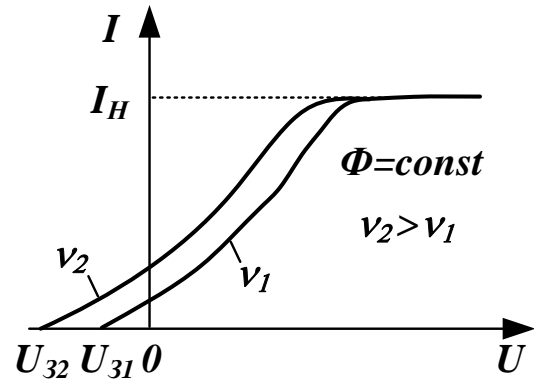


Рис.8.3

Закони зовнішнього фотоефекту пояснив А. Ейнштейн у 1905 р. на основі уявлень квантової теорії світла. За теорією Ейнштейна величина світлового потоку визначається числом світлових квантів (фотонів), що падають за одиницю часу на поверхню металу. Кожний фотон вибиває тільки один електрон. Тому максимальне число фотоелектронів, вибитих за одиницю часу, повинно бути пропорційно світловому потоку (перший закон фотоефекту).

Енергія фотона  $h\nu$  частково іде на здійснення електроном роботи виходу  $A$  з металу і кінетичну енергію фотоелектрона. Тоді, згідно з законом збереження енергії:

$$h\nu = A + W_{\text{кін}}. \quad (8.1)$$

З формули Ейнштейна (8.1) випливає, що при зменшенні частоти світла кінетична енергія електронів зменшується (величина  $A$  постійна для даної речовини). При деякій достатньо малій частоті  $\nu = \nu_{\text{мін}}$  кінетична енергія фотоелектрона стає рівній нулю, і фотоефект припиняється. Це буде за умови:

$$h\nu_{\text{мін}} = A. \quad (8.2)$$

З формул (8.1) і (8.2) випливає, що червона межа фотоефекту залежить від роботи виходу електрона з металу.

Якщо подати на катод (+), а на анод (-), то між катодом і анодом виникає гальмівне електричне поле. Під час проходження електроном відстані між катодом і анодом електричне поле здійснює роботу  $eU_{\text{зам}}$  ( $e$  – заряд електрона,  $U_{\text{зам}}$  – різниця потенціалів між катодом і анодом, що яка гальмує електрон). Якщо робота електричного поля більше мінімальної початкової кінетичної енергії електрона  $mv_{\text{макс}}^2/2$ , то усі електрони гальмують і

повертаються на катод. Значення «гальмівної» напруги  $U_{зам}$  можна знайти за формулою:

$$\frac{mv_{max}^2}{2} = eU_{зам}. \quad (8.3)$$

Замінивши у формулі (8.1) кінетичну енергію на роботу  $eU_{зам}$  з формули (8.3), отримаємо залежність затримуючого потенціалу від частоти світла:

$$h\nu = A + eU_{зам}. \quad (8.4)$$

Це співвідношення дає змогу використати явище фотоэффекту для знаходження сталої Планка. Якщо освітлювати фотокатод спочатку світлом однієї частоти  $\nu_1$ , а потім другої  $\nu_2$  і виміряти відповідні значення напруги  $U_{зам1}$  та  $U_{зам2}$ , то отримаємо такі формули:

$$h\nu_1 = A + eU_{зам1}; \quad (8.5)$$

$$h\nu_2 = A + eU_{зам2}. \quad (8.6)$$

Розв'язавши рівняння сумісно, отримаємо формулу для розрахунку сталої Планка:

$$h = \frac{e(U_{зам1} - U_{зам2})}{\nu_1 - \nu_2}. \quad (8.7)$$

### 8.3. Методика експерименту

#### 1. Зняття вольт-амперної характеристики.

1. Зібрати електричне коло з джерела струму, потенціометра, вольтметра на 3В, міліамперметра, фотоелемента ФЕУ-1 (рис.8.4).
2. Перевірити, що показання міліамперметра при закритому фотоелементі дорівнюють нулю.
3. Зняти залежність  $I = f(U)$ , змінюючи напругу від 0 до 50 В, через 5 В, а від 50 В до 100 В через 10 В.

#### 2. Визначення сталої Планка

1. Зібрати електричне коло за схемою (рис. 8.4). У цьому разі на катод фотоелемента подається (+), а на анод (-), тобто подається затримуюча напруга.

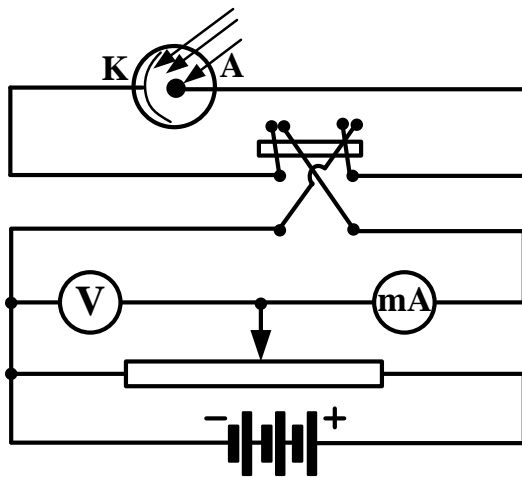


Рис.8.4

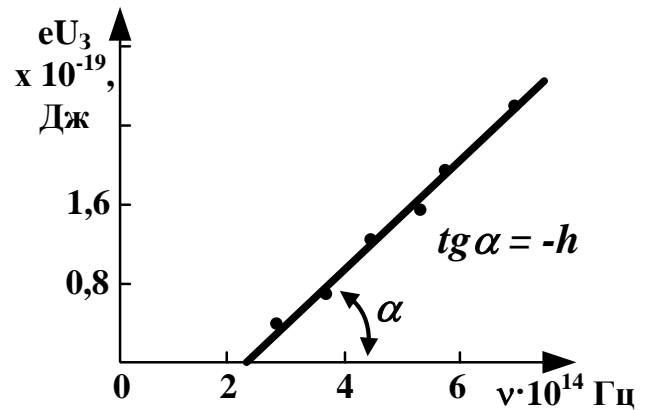


Рис.8.5

2. Перевірити, що показання міліамперметра при закритому фотоелементі дорівнюють нулю.
3. Помістити перший світлофільтр перед фотоелементом, включити освітлювач і подати на фотоелемент затримуючу напругу. Збільшуючи напругу добитися ослаблення струму до нуля і записати значення затримувальної напруги  $U_{зам1}$ .
4. Аналогічні вимірювання провести з другим світлофільтром і записати значення затримувальної напруги  $U_{зам2}$ .
5. Вимірювання повторити 3 рази, змінюючи світлофільтри.
6. За отриманими даними побудувати графік залежності  $eU_{зам}$  від частоти  $\nu$  (рис 8.5). За графіком знайти сталу Планка.

### Контрольні запитання

1. Що таке зовнішній фотоэффект?
2. Що таке вакуумний фотоелемент?
3. Що таке вольт-амперна характеристика фотоелемента?
4. Від чого залежить початкова швидкість фотоелектронів?
5. Що таке червона границя фотоэффекту?
6. Від чого залежить сила фотоструму?
7. Напишіть і поясніть формулу Ейнштейна.
8. Червона межа фотоэффекту для металу становить 550 нм (зелене світло). Які промені видимого спектра будуть викликати фотоэффект?
9. Поясніть фізичний зміст затримувального потенціалу.

*Лабораторна робота № 9*  
**ВИВЧЕННЯ ЗАКОНУ РАДІОАКТИВНОГО РОЗПАДУ**

### **9.1. Мета роботи**

Зняття кривої розпаду  $\beta$  ізотопів атмосферного повітря і визначення сталої радіоактивного розпаду.

### **9.2. Теоретична частина**

Радіоактивність – явище спонтанного (самочинного) перетворення одних атомних ядер в інші, що супроводжується різними видами іонізуючих випромінювань і випускненням деяких елементарних часток.

Дія радіоактивного випромінювання на тканини живого організму полягає в процесах збудження та іонізації атомів. При цьому розриваються хімічні зв'язки молекул і самі молекули розпадаються на складні хімічні радикали. Це викликає порушення нормальної життєдіяльності клітин і може призвести до їхньої загибелі. Біологічний ефект впливу випромінювання залежить від його виду, дози, часу впливу, індивідуальної чутливості організму.

Альфа-випромінювання (потік ядер гелію) має малу проникаючу здатність але велику іонізаційну здатність. Потіки  $\alpha$ -частинок при зовнішньому опромінюванні не є небезпечними для людини, тому що вони повністю затримуються тканиною одягу. Однак при попаданні усередину організму вони згубно діють на клітини. Бета-випромінювання (потік електронів) значно небезпечніше під час зовнішнього опромінення. Обидва види випромінювань завжди супроводжуються  $\gamma$ -випромінюванням.

Атмосферному повітрю властива природна радіоактивність, що обумовлена, в основному, наявністю в ньому радону і продуктів його розпаду. Радон  ${}^{226}_{86}\text{Rn}$  – інертний газ, що є продуктом розпаду радію, що затримується в ґрунті. Кількість радону в повітрі визначається умовами виходу його з ґрунту. Продуктами розпаду радону є радіоактивні ізотопи  ${}^{218}_{84}\text{Po}$ ,  ${}^{214}_{82}\text{Pb}$ ,  ${}^{214}_{83}\text{Bi}$ ,  ${}^{214}_{84}\text{Po}$  та ін. Під час зіткнення з твердими частинками диму, пилу, крапельками туману радіоактивні частинки осідають на їхній поверхні.

Незважаючи на малу концентрацію ізотопів у повітрі, їх можна виявити. Якщо пропустити значний об'єм повітря крізь фільтр, що вловлює тверді частки, то можна сконцентрувати у невеликому об'ємі фільтра природні радіоактивні ізотопи, які містяться у даному об'ємі повітря. Активність отриманого препарату в основному буде залежати від бета-активності ізотопів  $^{214}_{82}\text{Pb}$ , та  $^{214}_{83}\text{Bi}$ .

Радіоактивний розпад ядер є статистичним процесом. Величина, яка пропорційна ймовірності розпаду одного ядра, має назву сталої розпаду і позначається  $\lambda$ . Число ядер, що розпалися за час  $dt$  з  $N$  ядер ізотопу описується формулою

$$dN = -\lambda \cdot N \cdot dt. \quad (9.1)$$

Проінтегруємо вираз, маючи на увазі, що у момент часу  $t = 0$  число ядер  $N_0$ :

$$\int_0^N \frac{dN}{N} = -\int_0^t \lambda dt \quad \text{або} \quad \ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t. \quad (9.2)$$

Звідки

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}. \quad (9.3)$$

Формула (9.3) є основним законом радіоактивного розпаду (рис.9.1)

Проміжок часу, за який число радіоактивних ядер зменшується у два рази називається періодом напіврозпаду  $T_{0,5}$ .

Оскільки  $\frac{N_0}{N} = 2$ , то  $T_{0,5} = \frac{\ln 2}{\lambda}$ .

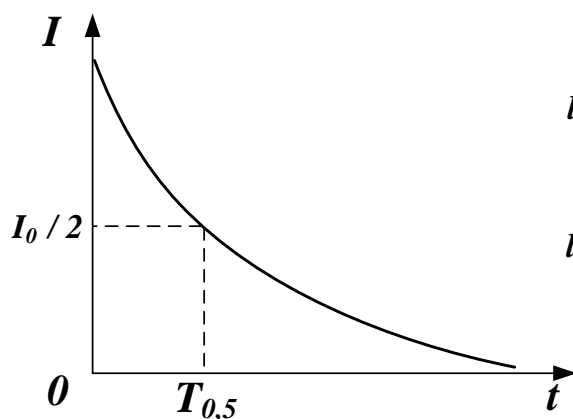


Рис. 9.1

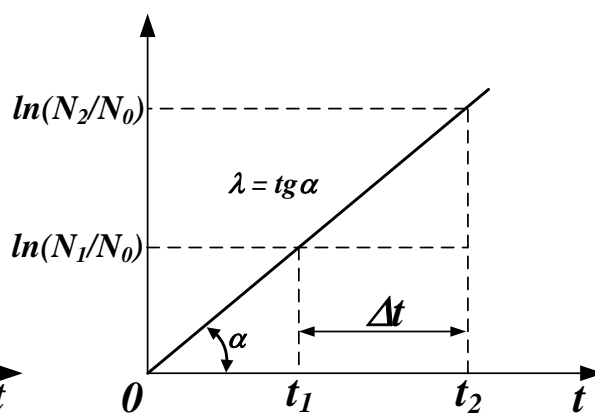


Рис. 9.2



Активність препарату дорівнює швидкості розпаду і визначається формулою

$$A = \left| \frac{dN}{dt} \right| = -\lambda N_0 e^{-\lambda t} = \lambda N. \quad (9.5)$$

Кількість ядер  $N$  препарату, що не розпалися на даний момент часу, легко визначити за формулою:

$$N = \frac{m}{\mu} N_A, \quad (9.6)$$

де  $\mu$  – молярна маса препарату;  $N_A$  – стала Авогадро.

### 9.3. Методика експерименту

Для зняття кривої розпаду в роботі застосовується радіометр, що складається з іонізаційного лічильника Гейзера-Мюллера і реєструвального чога пристрою (рис. 9.2). Лічильник являє собою циліндричну скляну трубку, наповнену під тиском близько 1 кПа аргонем з невеликою добавкою етилового спирту. У трубку вмонтовано два електроди: анод – металеву нитку, натягнуту уздовж осі циліндра і катод – у вигляді співвісного провідного циліндра. На електроди подається напруга в декілька сотень вольт, яка близька до розрядної. Попадання усередину трубки елементарної частки або  $\gamma$ -кванта спричиняє іонізацію газу, що приводить до різкого спаду напруги (імпульсу) на електродах трубки.

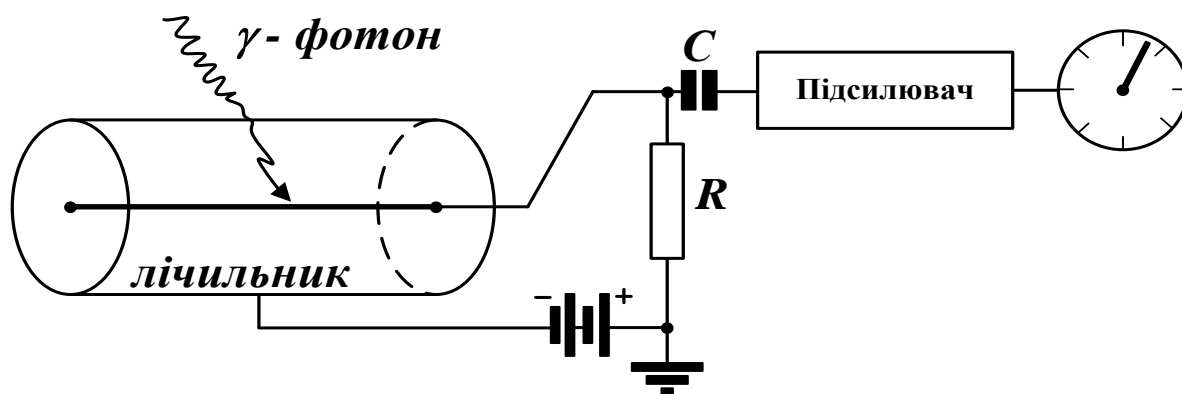


Рис. 9.2

Для реєстрації випромінювання використовується прилад ПП-16, що за допомогою індикаторів-декатронів може підсумувати подані на його вхід імпульси напруги. Така установка дозволяє

реєструвати до 15 тис. імп/с, але вона реєструє тільки ту частину випромінювання, що надходить від досліджуваного радіоактивного препарату до лічильника. Тому для практичного визначення дійсної активності препарату необхідно за допомогою еталона з відомою активністю визначити який відсоток частинок, що випускається еталоном, реєструється установкою. У цій роботі це не виконується.

Для перевірки роботи рахункового приладу є можливість подавати на його вхід імпульси від мережі змінного струму. Такий режим роботи здійснюється під час установки перемикача полярності вхідного сигналу в положення « $\sim$ » і натискання кнопки «50 Гц».

## 9.4. Експериментальні дослідження

### 1. Перевірка роботи приладу

1. Включити установку в електричну мережу;
2. Визначити число періодів змінної напруги за проміжок часу 100с.
3. Обчислити число імпульсів за секунду. Якщо отриманий результат дорівнює  $50 \pm 2$  імп/с, то установка перевірена.

### 2. Визначення фону випромінювання

1. Виміряти число імпульсів фону за 3 хв.
2. Підрахувати число імпульсів за хвилину  $N_\phi$ .
3. Провести виміри ще 3 – 4 рази і знайти середнє значення  $\bar{N}_\phi$ .
4. Результати обчислень занести в табл. 9.1.

### 3. Зняття кривої розпаду

1. Закріпити фільтр на вхідному отворі пілососа і пропустити через нього повітря протягом 10 хв.
2. Установити фільтр на підставку лічильника, підрахувати число імпульсів за 3 хв і обчислити число імпульсів за 1 хв:  $N_0^*$ .
3. Обчислити початкове число імпульсів за 1 хв:  $N_0 = \bar{N}_0^* - \bar{N}_\phi$ .
4. Повторити виміри шість разів, чергуючи щоразу 3 хв рахунку і одну перерви. Для кожного виміру обчислювати  $N_i^*$  імпульсів за хвилину ( $i = 1, 2, 3, \dots, 6$ ).
5. Визначити для кожного виміру число  $N_i = \bar{N}_i^* - \bar{N}_\phi$  імпульсів, отриманих від фільтра (без фону) за 1 хв.
6. Результати вимірів і обчислень занести у табл. 9.1 (зразок).

7. Побудувати графік  $N_i = f(t)$ ; За графіком знайти період напіврозпаду.
8. Побудувати графік  $\ln N_0/N_i = f(t)$ .

Таблиця 9.1

<b>Результати вимірювань</b>					
$N_\phi$	$t, \text{хв}$	$N_i^*$	$\bar{N}_i^*$	$\bar{N}_i = \bar{N}_i^* - \bar{N}_\phi$	$\ln \bar{N}_0/\bar{N}_i$
111	0хв (i = 0)	5118	$\bar{N}_0^*$ 5112	$\bar{N}_i = \bar{N}_0$ 5000	0
		5106			
108	3хв (i = 1)	4176			
		4168			
115	6хв i = 2	3421			
		3404			
118	9хв i = 3	2797			
		2789			
–	12хв i = 4	2292			
		2286			
–	15хв i = 5	1885			
		1877			
$\bar{N}_\phi = 112$			–		

9. За тангенсом кута нахилу графіка до осі абсцис визначити сталу розпаду  $\lambda = \frac{\Delta(N_0/N)}{\Delta t}$ .
10. За табл. 9.2 (за результатами розрахунків за даними табл. 9.1) визначити ядро хімічного елемента.

Таблиця 9.2

**Радіоактивні ядра, що утворилися в результаті аварії на Чорнобильській АЕС**

Пор. №	Елемент	Символ	$T_{0,5}$	Пор. №	Елемент	Символ	$T_{0,5}$ , роки
1	Магній	$^{27}_{12}\text{Mg}$	10 хв	8	Цезій	$^{137}_{55}\text{Cs}$	30
2	Фосфор	$^{35}_{15}\text{P}$	14,3 діб	9	Цезій	$^{134}_{55}\text{Cs}$	2
3	Стронцій	$^{89}_{38}\text{Sr}$	54 доби	10	Стронцій	$^{90}_{38}\text{Sr}$	29
4	Рутеній	$^{103}_{44}\text{Ru}$	39 діб	11	Плутоній	$^{238}_{94}\text{Pu}$	68

5	Рутеній	${}^{106}_{44}\text{Ru}$	374 добы	12	Плутоній	${}^{240}_{94}\text{Pu}$	24400
6	Йод	${}^{131}_{53}\text{I}$	8 діб	13	Америцій	${}^{241}_{95}\text{Am}$	432
7	Цезій	${}^{136}_{55}\text{Cs}$	13 діб	14	Самарій	${}^{244}_{96}\text{Cm}$	18

### Контрольні запитання

1. Що називається радіоактивністю?
2. Запишіть формулу основного закону радіоактивного розпаду.
3. Що таке стала радіоактивного розпаду?
4. Що таке період напіврозпаду?
5. Що таке активність радіоактивного препарату?
6. У яких одиницях вимірюється активність?
7. Опишіть принцип роботи газорозрядного лічильника.
8. Як впливає радіоактивне випромінювання на організм?

### Лабораторна робота № 10

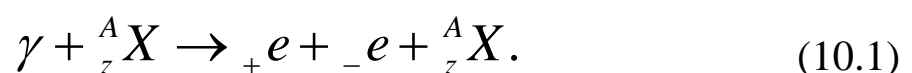
## ДОСЛІДЖЕННЯ ПОГЛИНАННЯ $\gamma$ -ПРОМЕНІВ РЕЧОВИНОЮ

### 10.1. Мета роботи

Дослідження поглинання  $\gamma$ -променів речовиною і визначення коефіцієнту поглинання.

### 10.2. Теоретична частина

Радіоактивні елементи випромінюють  $\alpha$ -промені,  $\beta$ -промені,  $\gamma$ -промені. Альфа-промені – це потік ядер гелію, бета-промені – це потік електронів, гамма-промені являють собою короткохвильове електромагнітне випромінювання. Під час поширення гамма-променів у речовині виникають явища фотоэффекту, ефекту Комптона, а також утворення електронно-позитронних пар за схемою:



Означені ефекти приводять до поглинання гамма випромінювання речовиною. Частка кожного з цих процесів у поглинанні гамма квантів різна і залежить від енергії  $\gamma$  - квантів, а також від атомного номера хімічного елемента, який поглинає випромінювання. Загальне поглинання гамма-променів підкорюється закону Бугера (експоненціальному закону).

$$I = I_0 e^{-kx}. \quad (10.2)$$

Цей закон можна переписати через кількість гамма-квантів:

$$n = n_0 e^{-kx}, \quad (10.3)$$

де  $I_0$  – інтенсивність,  $n_0$  – кількість  $\gamma$ -квантів, які падають на шар речовини товщиною  $x$ ;  $I$  – інтенсивність,  $n$  – кількість  $\gamma$  - квантів після проходження поглинаючого шару;  $k$  – коефіцієнт поглинання  $\gamma$ -променів даною речовиною (рис.10.1).

Для знаходження коефіцієнта поглинання потрібно логарифмувати вираз (10.2). Тоді закон Бугера можна записати таким чином:

$$\ln \frac{n_0}{n} = kx. \quad (10.4)$$

Графік залежності  $\ln \frac{n_0}{n}$  від  $x$  являє собою пряму лінію (рис.10.2)

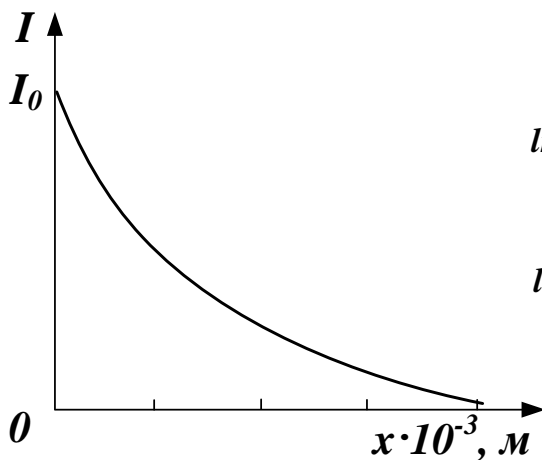


Рис.10.1

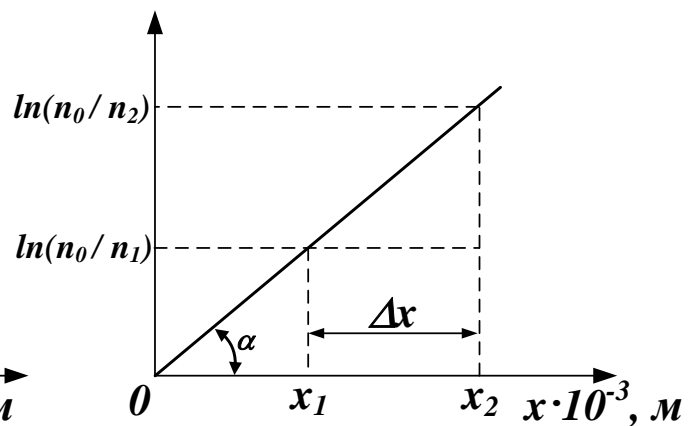


Рис. 10.2

З графіка залежності  $\ln \frac{n_0}{n}$  від  $x$  можна знайти коефіцієнт поглинання, як « тангенс кута» нахилу прямої до осі абсцис:

$$k_{cp} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta \ln \frac{n_0}{n}}{\Delta x}. \quad (10.4)$$

У лабораторній роботі потрібно показати, що закон Бугера правильно описує процес поглинання гамма-променів речовиною. Для цього необхідно побудувати графік (10.4). Якщо експериментальні точки лежать поблизу прямої, то

підтверджується лінійна залежність  $\ln \frac{n_0}{n}$  від  $x$ , тобто закон Бугера під час поглинання гамма-променів виконується. Можливе відхилення експериментально отриманих точок від прямої може пояснюватися такими причинами: по-перше – радіоактивне джерело дає суміш гамма-квантів з різними енергіями, тому і коефіцієнти будуть різні, по-друге – реєструючий прилад може не рахувати частину імпульсів.

Для реєстрації гамма променів у лабораторній роботі використовують лічильник Гейзера-Мюллера, який має вигляд циліндричного конденсатора. Електроди конденсатора розміщуються у середині скляного балона, в якому знаходиться інертний газ під малим тиском (рис.10.3). Внутрішній електрод (анод) – це металева нитка, а зовнішній електрод (катод) – металевий циліндр діаметром 20–30 мм, на який подається великий негативний потенціал (800 – 1200 В). Гамма-кванти, попадаючи в простір між електродами, іонізують атоми газу. В просторі між електродами виникає імпульс струму, який подається на лічильник імпульсів ПП-16 і реєструється ним.

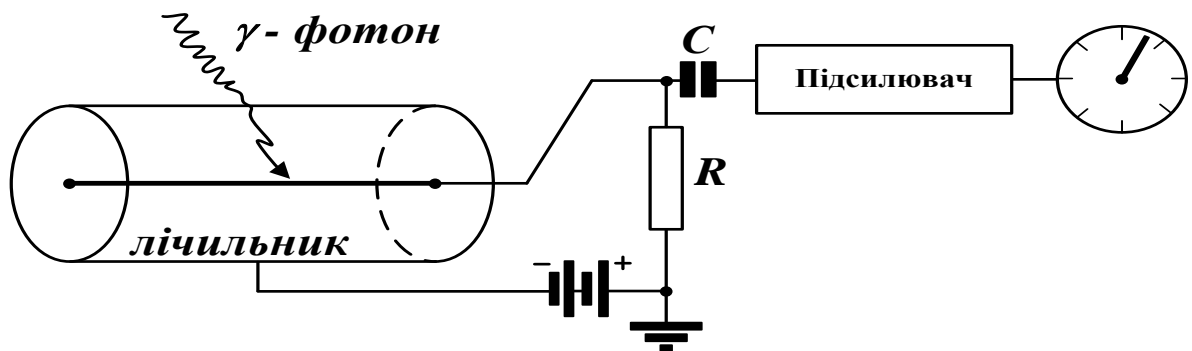


Рис.10.3

### 10.3. Експериментальні дослідження

Перед проведенням вимірювань підготуйте лічильник ПП-16 до роботи:

1. Включіть лічильник в електричну мережу напругою 220 В.
2. Встановіть режим роботи «Вхід 1:1»
3. Натисненням кнопки «Пуск» включіть прилад.
4. Натисніть кнопку «Стоп».
5. Натиснувши кнопку «Скидання» встановіть показання всіх декатронів на «0».
6. Вмикач знака полярності поставте в положення « $\rightarrow$ ».

**Завдання 1.** Дослідження поглинання  $\gamma$  - випромінювання свинцем.

1. Виміряйте природний радіоактивний фон. Для цього (за відсутності радіоактивного джерела) одночасно включіть секундомір і натисніть на кнопку «Пуск». Через 2–3 хв (за вказівкою викладача) натисніть на кнопку «Стоп». Підрахуйте показання декатронів на приладі ПП-16. Вимірювання природного фону проведіть три рази і знайдіть середнє значення  $n_{\phi}$ . Середнє значення радіоактивного фону  $n_{\phi}$  занесіть у табл. 10.1.

2. Поставте радіоактивне джерело поряд з лічильником і виміряйте кількість гамма-квантів за 2–3 хв. Лічильник реєструє гамма-кванти, які випромінює джерело в напрямку лічильника і фон, тобто  $n_0 + n_{\phi}$ . Вимірювання проведіть 3 рази і знайдіть середнє значення.

3. Прикрийте радіоактивне джерело свинцевою пластиною і виміряйте кількість гамма-квантів, які пройшли крізь пластину, тобто  $n_1 + n_{\phi}$ . Проведіть вимірювання 3 рази і занесіть середнє значення в таблицю.

4. Проведіть вимірювання з двома, трьома і т. д. пластинами свинцю, тобто знайдіть  $n_2 + n_{\phi}$ ,  $n_3 + n_{\phi}$ ,  $n_4 + n_{\phi}$ ,  $n_5 + n_{\phi}$ ,  $n_6 + n_{\phi}$ .

5. Виміряйте товщину пластин і занесіть у таблицю.

6. Експериментальні дані занесіть у табл.10.1 (зразок).

Таблиця 10.1

**Результати вимірювань поглинання  $\gamma$  - випромінювання**

Пор.№	речовина	x, мм.	$n_{\phi}$	$n + n_{\phi}$	n	$\ln n_0 / n$	$\kappa$ , 1/м
1	—	—	138	—	—	—	—
2	—	0		2038	1900	0	—

3	Свинець	1,5		1463			
4	Свинець	3,0		1076			
5	Свинець	4,0		866			
6	Свинець	5,5		647			
7	Свинець	7,0		450			
8	Сталь						
9	Дюраль						
10	Дерево						

7. Нарисуйте графік залежності  $\ln n_0 / n$  від  $x$  і за графіком розрахуйте середнє значення коефіцієнта поглинання. Результати занесіть в таблицю 10.1.

**Завдання 2.** Дослідження залежності коефіцієнта поглинання гамма-променів від густини речовини.

1. Проведіть дослідження поглинання гамма-променів зразків з дюралюмінію і сталі. Розрахуйте коефіцієнти поглинання і побудуйте графік залежності  $k$  від густини ( $\rho_{\text{св.}}=11,4 \cdot 10^3 \text{ кг / м}^3$ ;  $\rho_{\text{ст.}}=7,8 \cdot 10^3 \text{ кг / м}^3$ ;  $\rho_{\text{д.}}=2,7 \cdot 10^3 \text{ кг / м}^3$ ).

### Контрольні запитання

1. Сформулюйте постулати Бора.
2. Поясніть як атом випромінює і поглинає енергію.
3. Яка структура ядра атома? Ядерні сили їх властивості.
4. Що таке радіоактивність, її природа?
5. Які види розпаду ви знаєте?
6. Запишіть закон радіоактивного розпаду.
7. Що таке період напіврозпаду?
8. Що таке стала радіоактивного розпаду?

### Лабораторна робота № 11

## ВИЗНАЧЕННЯ ДОВЖИНИ ХВИЛІ ДЕ БРОЙЛЯ ЕЛЕКТРОНА

### 11.1. Мета роботи

Вивчення явища дифракції електронів на полікристалічних плівках алюмінію за допомогою електронного мікроскопу і розрахунок довжини хвилі де Бройля .



## 11.2. Теоретична частина

Згідно з теорією де Бройля електрони як і інші мікрочастинки мають корпускулярно-хвильову природу. В різних умовах вони проявляють себе то як класичні частинки (корпускули), то як хвилі матерії (кванти електромагнітного поля). Проявом хвильових властивостей електронів є їх дифракція на об'ємній дифракційній решітці. У ролі дифракційної решітки для електронів використовують тонкі шари полікристалічної або монокристалічної речовини. Скрізь вузли кристалічної решітки проходить багато систем паралельних рівновіддалених площин (атомних шарів).

Дифракційна картина є результатом інтерференції електронних хвиль де Бройля, які віддзеркалюються від паралельних атомних шарів. При дифракції електронів на монокристалічній плівці на екрані або фотоплівці спостерігається система симетричних відносно центра точок максимумів інтенсивності електронних хвиль. **При дифракції електронів на полікристалічній плівці на екрані електронного мікроскопа спостерігається система концентричних кілець.** Це можна пояснити тим, що на шляху електронної хвилі трапляється багато дрібних кристалів, які дезорієнтовані один до одного. Накладання великої кількості повернутих одна до одної дифракційних точкових картин утворює результативну картину у вигляді кілець. Розрахунок дифракційної картини зручно робити за методом, розробленим для рентгенівського випромінювання англійськими вченими Г. Бреггом і Л. Бреггом, а також російським фізиком Ю. В. Вульфом у 1912 – 1913 рр. Розташування максимумів на дифракційній картині визначається за **формулою Вульфа – Брегга:**

$$2d \sin \theta = k\lambda, \quad (11.1)$$

де  $\theta$  – кут ковзання електронного променя,  $\lambda$  – довжина хвилі де Бройля електрона,  $k = 1, 2, 3, \dots$  – номер дифракційного кільця (рис.11.4). За умови, що відстань  $L$  від плівки до екрана велика, а кути ковзання малі (менше  $5^\circ$ ), то виконуються співвідношення:

$$\operatorname{tg} 2\theta \approx \sin 2\theta \approx 2\theta = \frac{D}{2\ell},$$

де  $D$  – діаметр дифракційного кільця.

Формулу Вульфа – Брегга для експериментального визначення довжини хвилі електрона можна записати у вигляді:

$$\lambda = \frac{d \cdot D}{2kL}. \quad (11.2)$$

Теоретичне значення довжини хвилі де Бройля можна знайти за формулою:

$$\lambda = \frac{h}{p}, \quad (11.3)$$

де  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж·с – стала Планка,  $p$  – імпульс електрона.

Імпульс електрона знайдемо через його енергію:

$$p = \sqrt{2m_e W}, \quad (11.4)$$

де енергія електрона, який пройшов різницю потенціалів  $U$ :

$$W = eU, \quad (11.5)$$

де  $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$  кг – маса електрона,  $e$  – заряд електрона.

Таким чином, з урахуванням формул (11.2 – 11.5) **теоретичне значення довжини хвилі де Бройля знайдемо за формулою:**

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_e eU}}. \quad (11.6)$$

### 11.3. Методика експерименту

Для спостереження дифракції електронів використовується електронний мікроскоп, який працює у режимі електронографат (рис. 11.1). Оптична блок-схема мікроскопа наведена на рис. 11.2.

Пучок електронів формується за допомогою електронної пушки (яка має катод 1, фокусувальний електрод (2) та анод (3), конденсорних лінз (4,6), які мають діафрагми (5,7).

Полікристалічна плівка Al (зразок) розміщується на предметному стільці (8). Дифрагований електронний пучок формується і проектується на люмінесцентний екран (13) електронною лінзою (9) з діафрагмою (10). Проміжні лінзи 11 та 12 у режимі дифракції не використовуються.

У лабораторній роботі довжину хвилі де Бройля розраховують для чотирьох атомних площин (111), (002), (022), (113). Значення відстані між площинами  $d_{hkl}$  приведені у таблиці 1, а розташування площин у кубічній гранецентрованої решітці показано на рис. 11.3.

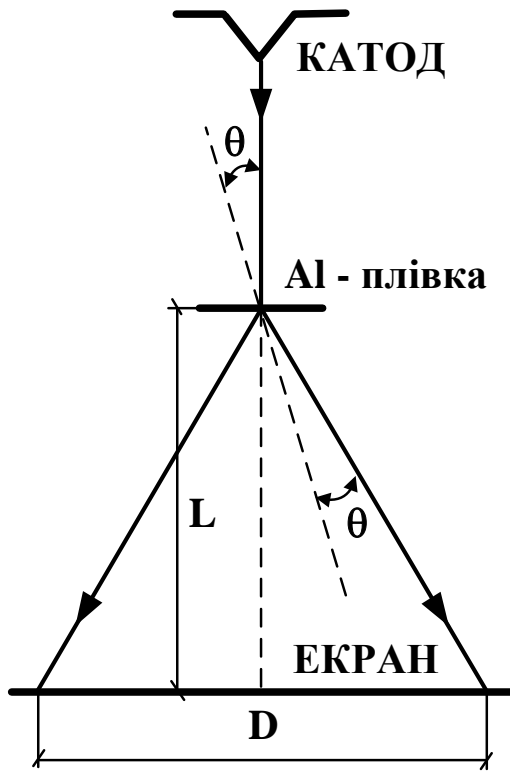


Рис. 11.1

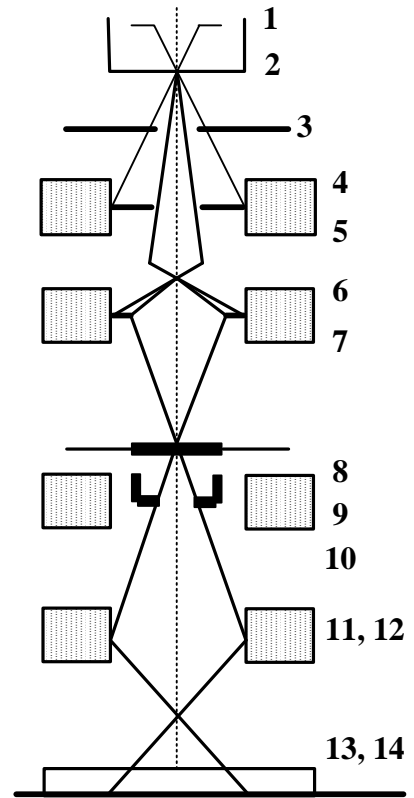


Рис. 11.2

Таблиця 11.1

Значення  $d_{hkl}$  для  $L = 0,76$  м,  $\kappa = 1$ .

Площина (hkl)	$d_{hkl} \times 10^{-10}, \text{м}$	$D \times 10^{-3}, \text{м}$	$\lambda_{\text{експ}} \times 10^{-12}, \text{м}$	$\lambda_{\text{ср}} \times 10^{-12}, \text{м}$	$\lambda_{\text{теор}} \times 10^{-12}, \text{м}$
(111)	2,33				
(002)	2,02				
(022)	1,43				
(113)	1,22				

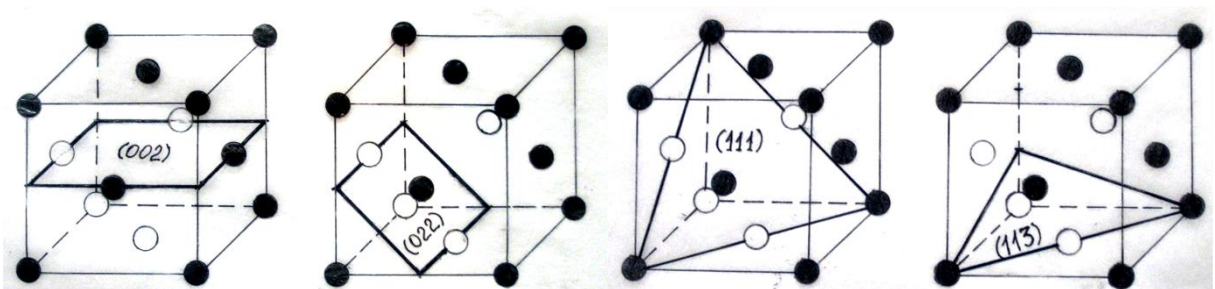


Рис. 11.3

## 11.4. Експериментальні дослідження

1. Виміряти діаметри дифракційних кілець  $D_{111}$ ,  $D_{002}$ ,  $D_{022}$ ,  $D_{113}$  (рис. 11.4) для чотирьох площин (111), (002), (022), (113).
2. Обчислити експериментальні і теоретичне значення довжини хвилі де Бройля за формулою (2.7).
3. Знайти середню відносну похибку вимірювань за формулою:

$$\delta = \frac{\lambda_{\text{експ}} - \lambda_{\text{теор}}}{\lambda_{\text{теор}}}.$$

4. Результати вимірювань записати у вигляді  $\lambda = \lambda_{\text{сер}} \pm \delta \lambda_{\text{теор}}$ .

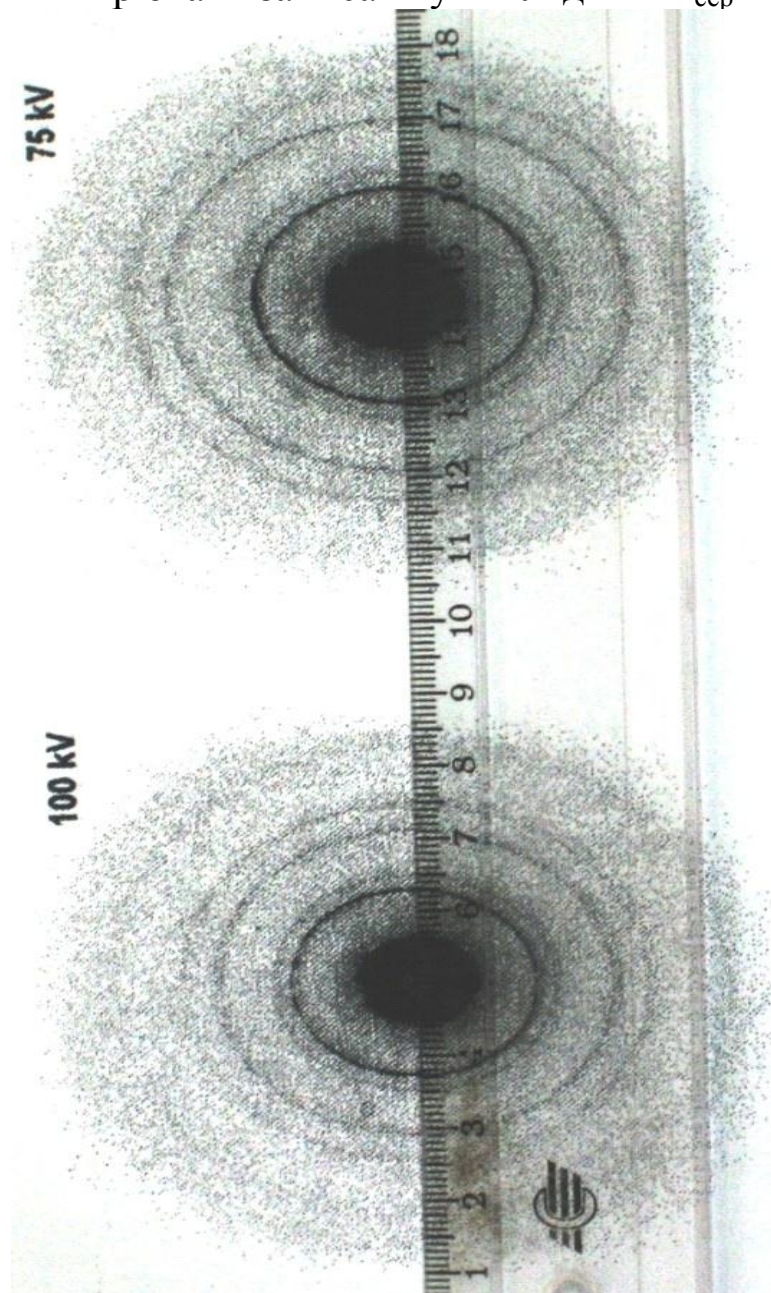


Рис. 11.4

*Лабораторна робота № 12*  
**ВИЗНАЧЕННЯ ДОВЖИНИ ХВИЛІ ЛАЗЕРНОГО**  
**ВИПРОМІНЮВАННЯ**

**12.1. Мета роботи**

Ознайомитись з принципом дії лазера і визначити довжину хвилі за допомогою дифракційної решітки.

**12.2. Теоретична частина**

Розглянемо процеси випромінювання і поглинання між двома енергетичними рівнями в системі з багатьох атомів (рис. 12.1). Ейнштейн довів, що кількість *вимушених* (індукованих) переходів атомів з нижнього енергетичного рівня на верхній (поглинання фотона) і *спонтанних та вимушених* переходів з верхнього на нижній *в умовах термодінамічної рівноваги* повинна бути однаковою:

$$N_{mn}^{ind} = N_{nm}^{ind} + N_{nm}^{спонт.} \quad (12.1)$$

В незбудженому (рівноважному) стані більшість атомів ( $N_m > N_n$ ) знаходиться на нижньому рівні (рис.12.1), тобто заселеність рівнів  $N_n$  менша ніж заселеність рівнів  $N_m$  і визначається розподілом Больцмана.

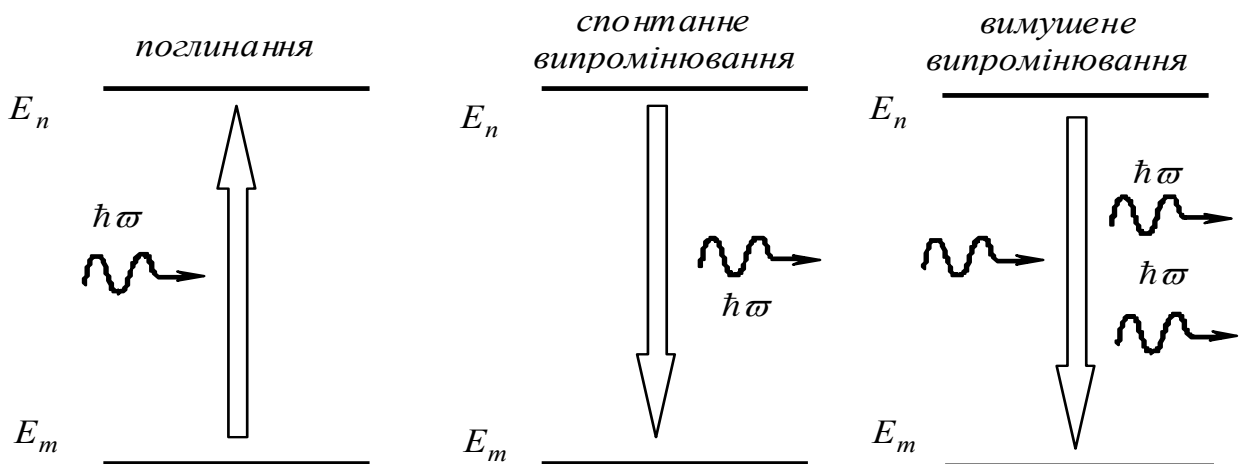


Рис. 12.1.

При проходженні електромагнітного випромінювання крізь таку речовину зміна інтенсивності описується законом Бугера:

$$I = I_0 e^{-\alpha x} \quad (12.2)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт поглинання;  $x$  – товщина слоя речовини.

В збудженому (нерівноважному) стані більшість атомів ( $N_m < N_n$ ) знаходиться на верхньому рівнях (рис. 12.1), тобто заселеність рівнів  $N_n$  більша ніж заселеність рівнів  $N_m$ . В системі з інверсною ( $N_m < N_n$ ) населеністю рівнів індуковане випромінювання переважає спонтанне – має місце підсилення, а коефіцієнт поглинання  $\alpha$  в законі Бугера стає від'ємним:

$$I = I_0 e^{\alpha x} \quad (12.3)$$

Нерівноважний стан такої системи характеризується від'ємною температурою.

Лазери класифікують за видом активного середовища (твердотільні, газові, напівпровідникові, рідинні) та методам «накачки» (оптичні, теплові, хімічні, електроіонізаційні напівпровідникові та ін). Лазери обов'язково повинні мати такі основні компоненти:

- 1) активне середовище з інверсною заселеністю енергетичних рівнів (рис. 12.2);
- 2) систему накачування енергії;
- 3) оптичний резонатор (пристрій, який формує світловий потік у заданому напрямку).

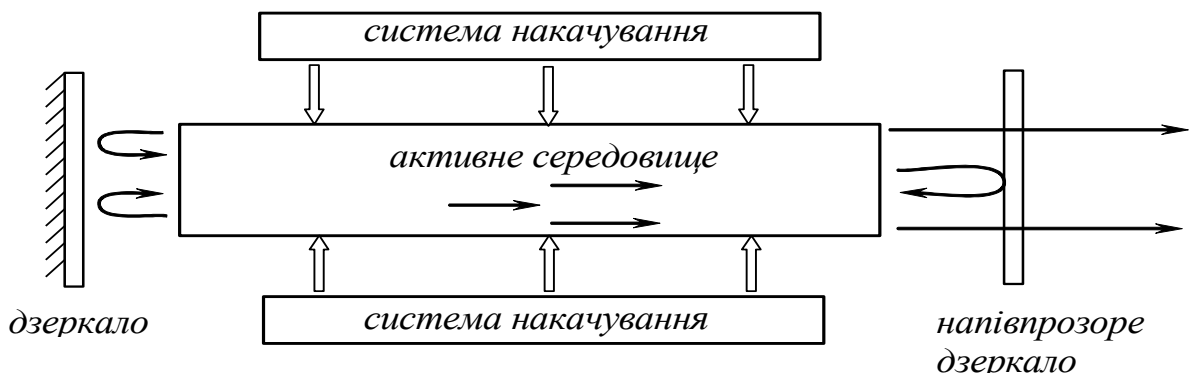


Рис.12.2

Система накачування (в твердотільних лазерах – це лампа-спалах, в газових – це газовий розряд) створює середовище з

інверсною заселеністю рівнів. Первинні фотони (які спонтанно випромінюють атоми) що рухаються під кутами до осі середовища виходять назовні практично без підсилювання. Осьові фотони, як і фотони, ними індуковані, рухаючись уздовж осі, викликають лавиноподібне зростання фотонного потоку, чому сприяє відбиття не досить концентрованого потоку від дзеркал (резонатора).

Накладання відбитих від дзеркал і «прямих» фотонів утворює стоячу хвилю, яка виконує індукуючу дію; для цього середовище повинно мати резонансні розміри. Частина випромінювання виходить назовні через напівпрозоре дзеркало. Для підтримання інверсної заселеності протягом роботи лазера повинна відбуватись «підкачка» енергії.

Розглянемо процес створення активного середовища на прикладі гелій-неонового лазера (суміш гелію і неону з співвідношенням концентрацій 10:1 має тиск близько 1 мм. рт. ст.) Енергетичні рівні незбуджених атомів гелію і неону практично однакові ( $1s$ ). Атоми гелію мають два близьких за енергіями підрівня  $2s$  (рис. 12.3). Перехід  $1s \rightarrow 2s$  відбувається за рахунок непружних співударянь частинок в газовому розряді (фотонний перехід  $1s \rightarrow 2s$  заборонено бо при цьому  $\Delta l = 0$ ). При зіткненнях енергія від атомів гелію переходить до атомів неону, частина яких опиняється в стані  $4s$ , а частина – в стані  $5s$ .

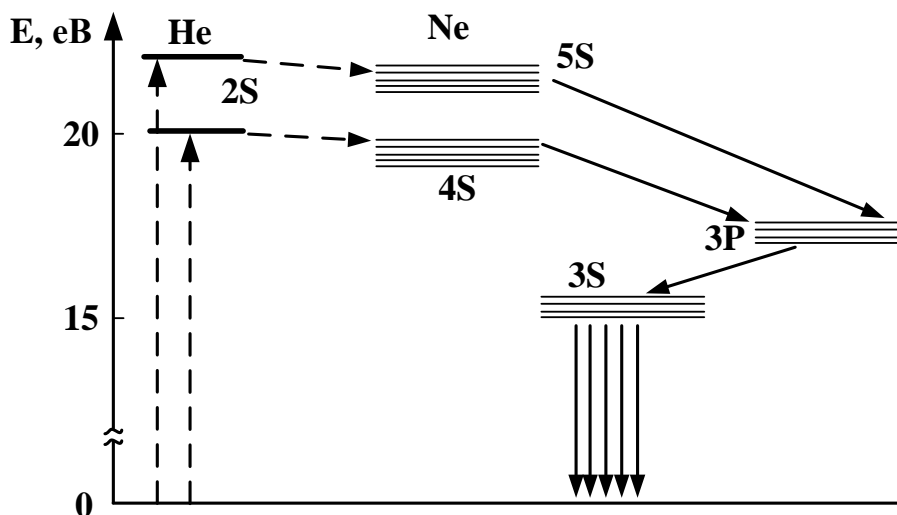


Рис. 12.3

Час життя атомів неону на рівнях  $4s$  і  $5s$  на два порядки більше, ніж на рівнях  $3p$ , внаслідок чого в газовому розряді, при безперервній підкачці енергії, створюється інверсна заселеність

рівнів неону  $4s$  і  $5s$  по відношенню до  $3p$ . Перехід  $5s \rightarrow 3p$  призводить до утворення червоного світла ( $\lambda = 0,6328$  мкм), а перехід  $4s \rightarrow 3p$  – інфрачервоного. Перехід  $3p \rightarrow 3s$  відіграє роль очисника рівнів  $p$ . Це збільшує відносну інверсну заселеність рівнів  $4s$  і  $5s$ . За рахунок інтенсивного накопчування енергії – випромінювання гелій-неонового лазера безперервне.

Для визначення довжини хвилі лазерного випромінювання в роботі використовується дифракційна решітка. Дифракційна решітка в найпростішому випадку – це прозора пластина, на якій на однаковій відстані нанесено велику кількість непрозорих штрихів однакової ширини. Якщо на дифракційну решітку спрямувати паралельний пучок монохроматичного світла з довжиною хвилі  $\lambda$  (рис. 12.4), то на екрані, розміщеному в фокальній площині лінзи, буде спостерігатися дифракційна картина у вигляді декількох вузьких світлих смуг, відокремлених темними проміжками.

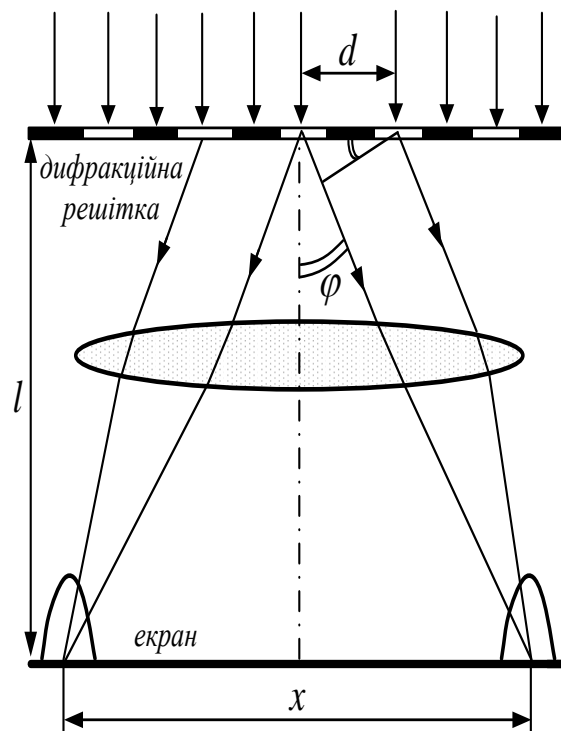


Рис. 12.4

Центральний максимум, якому відповідає  $m = 0$ , найяскравіший. По обидві сторони від нього розташовуються правий ( $m = +1$ ) і лівий ( $m = -1$ ) максимуми першого порядку, потім правий ( $m = +2$ ) і лівий ( $m = -2$ ) максимуми другого порядку і т.д.



### 12.3. Методика експерименту

Лабораторна установка для визначення довжини хвилі лазерного випромінювання являє собою оптичну лаву, на якій встановлені: напівпровідниковий лазер з блоком живлення, нерухомий штатив з кріпленням дифракційної решітки та екран.

Перед проведенням експериментів ознайомтеся з лабораторною установкою. При вимірюваннях блок живлення підключить у електромережу напругою 220 В.

Довжину хвилі випромінювання лазера визначають за формулою

$$d \sin \varphi_m = m\lambda, \quad (12.4)$$

де  $m$  – порядок максимуму ( $m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ );  $\lambda$  – довжина хвилі;  $d$  – стала (період) решітки;  $\varphi_m$  – кут дифракції, тобто кут відхилення променя від попереднього напрямку. Кут дифракції можна знайти за формулою:

$$\sin \varphi_m \approx \operatorname{tg} \varphi = \frac{x}{2\ell}. \quad (12.5)$$

В умову (12.4) підставимо формулу (12.5) і одержимо:

$$\lambda = \frac{d}{m} \cdot \sin \varphi = \frac{d \cdot x}{2m\ell}. \quad (12.6)$$

### 12.4. Експериментальні дослідження

1. Ознайомтеся з лабораторною установкою.
2. Отримайте дифракційну картину на екрані.
3. Виміряйте відстань між лазером і екраном ( $\ell$ ).
4. Виміряйте відстань між максимумами першого порядку ( $x$ ).
5. Виконайте всі виміри за п.3 для спектра другого порядку.

Отримані дані занесіть у табл. 12.1.

6. За формулою 12.6 визначити середнє значення довжині хвилі.

Таблиця 12.1

#### Результати вимірювань

$d \cdot 10^{-2}, \text{мм}$	$m$	$x, \text{М}$	$\ell, \text{М}$	$\lambda, \text{нм}$	$\bar{\lambda}, \text{нм}$
1	1				
	2				

## Контрольні запитання

1. У чому суть вимушеного випромінювання?
2. Що таке інверсна заселеність рівней?
3. Що таке від'ємна абсолютна температура.
4. Які основні компоненти обов'язково повинен мати лазер.
5. Принцип роботи та будова лазера.
6. Сформулюйте принцип Гюйгенса.
7. Сформулюйте принцип Гюйгенса – Френеля
8. Які хвилі називаються когерентними?
10. Що становить явище дифракції?
11. Що таке дифракційна решітка і для чого вона використовується?
12. Отримайте формулу для визначення довжини хвилі лазера.

## ДОДАТКИ

*Додаток 1*

### *Умовні позначки основних фізичних величин у одиницях СІ*

Символ фізичної величини	Назва фізичної величини	Одиниця вимірювання фізичної величини
1	2	3
t	час	с
$\vec{v}$	швидкість	м/с
$\Delta\vec{r}$	переміщення	м
$l$	довжина	м
$\vec{a}$	прискорення	м/с <sup>2</sup>
$\vec{g}$	прискорення вільного падіння	м /с <sup>2</sup>
$\varphi$	кут повороту	рад
$\omega$	кутова швидкість	рад /с
n	число обертів	-
T	період	с
m	маса	кг
$\vec{F}$	сила	Н
M	момент сили	Н·с
A	робота	1 Дж = 1 Н·м
E, W	енергія	Дж
N, P	потужність	1 Вт = 1 Дж/с
p	тиск	Па
S	площа	м <sup>2</sup>
V	об'єм	м <sup>3</sup>
$\eta$	коефіцієнт корисної дії	%
$\rho$	густина	кг/м <sup>3</sup>
$\nu$	частота	с <sup>-1</sup> , Гц
$\mu, M$	молярна маса	кг/моль
A	атомна маса	кг
$N_A$	стала Авогадро	моль <sup>-1</sup>
T	абсолютна температура	К
U	внутрішня енергія	Дж
Q	кількість теплоти	Дж

Продовження табл. 1

1	2	3
$q$	електричний заряд	Кл = А·с
$I$	сила струму	А
$\varphi$	потенціал електричного поля	В
$\varphi_1 - \varphi_2$	різниця потенціалів	В
$C$	електроємність	Ф
$R$	електричний опір	Ом
$B$	магнітна індукція	Тл
$\Phi$	магнітний потік	Вб
$L$	індуктивність	Гн
$I$	сила світла	кд
$\Phi$	світловий потік	лм
$E$	освітленість	лк
$\Phi_e$	потік випромінювання	Вт
$D$	поглин. доза випромінювання	1Гр = 100 рад
$\Pi$	потужність погл. дози	1Гр/с = 100 рад/с
	експозиційна доза випромін.	1Р = $2,58 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг
	потужність екс. дози випром.	1Р/с = $2,58 \cdot 10^{-4}$ А/кг
$A$	активність ізотопу	1 Бк = 1розп/с; 1 Ки = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк

Додаток 2

*Множники і префікси*

$10^{18}$	екса	Э	$10^{-1}$	деци	д
$10^{15}$	пета	П	$10^{-2}$	санти	(с)
$10^{12}$	тера	Т	$10^{-3}$	мілі	(м)
$10^9$	гіга	Г	$10^{-6}$	мікро	(мк)
$10^6$	мега	М	$10^{-9}$	нано	(н)
$10^3$	кіло	к	$10^{-12}$	піко	(п)
$10^2$	гекто	г	$10^{-15}$	фемто	(ф)
$10^1$	дека	да	$10^{-18}$	атто	(а)

*Деякі фізичні сталі*

Фізична величина	Наближені значення для розв'язання задач
Абсолютний нуль температури	$-273^0\text{C}$
Гравітаційна стала	$6,67 \cdot 10^{-11} \text{ кг}^{-1} \text{ м}^3 \text{ з}^2$
Заряд електрона	$1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Магнітна стала	$4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$
Маса електрона	$9 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Молярна газова стала	$8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$
Молярна маса повітря	$29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$
Нормальний атмосферний тиск	$10^5 \text{ Па}$
Стала Авогадро	$6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Стала Планка	$6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж с}$
Стала Фарадея	$9,65 \cdot 10^4 \text{ Кл/моль}$
Швидкість світла у вакуумі	$3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Середній радіус Землі	$6370 \text{ км}$
Середня відстань Землі від Сонця	$1,5 \cdot 10^{11} \text{ м}$
Електрична стала	$8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$

*Діелектрична проникливість,  $\epsilon$* 

Вода	81
Олива (трансформаторна)	2,2
Парафін	2,0
Слюда	7,0
Скло	7,0
Фарфор	5,0
Ебоніт	3,0

*Показчик заломлення,  $n$* 

Алмаз	2,42
Вода	1,33
Олива	1,6
Сірководок	1,63
Скло	1,5

## Додаток 6

## Робота виходу електронів з металу

Метал	A, еВ	A · 10 <sup>-19</sup> , Дж	Метал	A, еВ	A · 10 <sup>-19</sup> , Дж
Калій	2,2	3,50	Платина	6,30	10,1
Літій	2,3	3,70	Срібло	4,70	7,50
Натрій	2,5	4,00	Цинк	4,00	6,40
Алюміній	4,25	6,80	Олово	4,39	7,02
Нікель	4,5	7,20	Цезій	1,90	3,04
Мідь	4,4	7,04	Стибій	4,08	6,53
Ртуть	4,52	7,23	Вольфрам	4,54	7,26
Залізо	4,31	6,90			

## Додаток 7

## Періоди напіврозпаду деяких ядер

Ізотоп	Тип розпаду	Період напіврозпаду
Актиній ${}_{89}^{225}\text{Ac}$	$\alpha$	10 діб
Йод ${}_{53}^{131}\text{I}$	$\beta^{-}, \gamma$	8 діб
Іридій ${}_{77}^{192}\text{Ir}$	$\beta^{-}, \gamma$	75 діб
Кобальт ${}_{27}^{60}\text{Co}$	$\beta^{-}, \gamma$	5,3 року
Магній ${}_{12}^{27}\text{Mg}$	$\beta^{-}$	10 хв
Радій ${}_{88}^{219}\text{Ra}$	$\alpha$	10 <sup>-3</sup> с
Радій ${}_{88}^{226}\text{Ra}$	$\alpha, \gamma$	1,62 · 10 <sup>3</sup> років
Радон ${}_{86}^{222}\text{Ra}$	$\alpha$	3,8 доби
Стронцій ${}_{38}^{90}\text{Sr}$	$\beta^{-}$	28 років
Торій ${}_{90}^{229}\text{Th}$	$\alpha, \gamma$	7 · 10 <sup>3</sup> років
Уран ${}_{92}^{238}\text{U}$	$\alpha, \gamma$	4,5 · 10 <sup>9</sup> років
Фосфор ${}_{15}^{32}\text{P}$	$\beta^{-}$	14,3 доби
Натрій ${}_{11}^{22}\text{Na}$	$\gamma$	2,6 року

## Маси нейтральних атомів

Елемент	Ізотоп	Маса (а.о.м)	Елемент	Ізотоп	Маса (а.о.м)
Водень	${}^1_1\text{H}$	1,00783	Берилій	${}^7_4\text{Be}$	7,01693
	${}^2_1\text{H}$	2,01410		${}^9_4\text{Be}$	9,01219
	${}^3_1\text{H}$	3,01605		${}^{10}_4\text{Be}$	10,01354
Гелій	${}^3_2\text{He}$	3,01603	Бор	${}^9_4\text{B}$	9,01333
	${}^4_2\text{He}$	4,00260		${}^{10}_4\text{B}$	10,01294
				${}^{11}_4\text{B}$	11,00931
Літій	${}^6_3\text{Li}$	6,01513	Вуглець	${}^{10}_6\text{C}$	10,00168
	${}^7_3\text{Li}$	7,01601		${}^{12}_6\text{C}$	12,00000
Натрій	${}^{22}_{11}\text{Na}$	21,99444		${}^{13}_6\text{C}$	13,00335
	${}^{23}_{11}\text{Na}$	22,98977	${}^{14}_6\text{C}$	14,00324	
Азот	${}^{13}_7\text{N}$	13,00574	Кисень	${}^{16}_8\text{O}$	15,99491
	${}^{14}_7\text{N}$	14,00307		${}^{17}_8\text{O}$	16,99913
	${}^{15}_7\text{N}$	15,00011			17,99916
Фтор	${}^{19}_9\text{F}$	18,99840	Кремній	${}^{31}_{14}\text{Si}$	30,97535
Магній	${}^{23}_{12}\text{Mg}$	22,99414	Алюміній	${}^{30}_{13}\text{Al}$	29,99817
Калій	${}^{41}_{19}\text{K}$	40,96184	Фосфор	${}^{31}_{15}\text{P}$	30,97376
Кальцій	${}^{44}_{20}\text{Ca}$	43,95549	Полоній	${}^{210}_{84}\text{Po}$	209,98297
Свинець	${}^{206}_{82}\text{Pb}$	205,97446			

## Маса та енергія спокою елементарних частинок і легких ядер

Частинка	Маса		Енергія	
	$m_0$ , кг	$m_0$ , а.о.м	$E_0$ , Дж	$E_0$ , Мев
Електрон	$9,11 \cdot 10^{-31}$	0,00055	$8,16 \cdot 10^{-14}$	0,511
Протон	$1,672 \cdot 10^{-27}$	1,00728	$1,50 \cdot 10^{-10}$	938
Нейтрон	$1,675 \cdot 10^{-27}$	1,00867	$1,51 \cdot 10^{-10}$	939
Дейтон	$3,35 \cdot 10^{-27}$	2,01355	$3,00 \cdot 10^{-10}$	1876
$\alpha$ - частинка	$6,64 \cdot 10^{-27}$	4,00149	$5,96 \cdot 10^{-10}$	3733

## ЗМІСТ

Вступ. . . . .	3
1. Лабораторна робота № 1. Визначення головної фокусної відстані оптичних систем . . . . .	4
2. Лабораторна робота № 2. Дослідження оптичних спектр . . . . .	7
3. Лабораторна робота № 3. Визначення довжини світлової хвилі за допомогою кілець Ньютона . . . . .	14
4. Лабораторна робота № 4. Визначення довжини світлової хвилі за допомогою дифракційної решітки . . . . .	18
5. Лабораторна робота № 5. Визначення концентрації цукрового розчину за допомогою поляриметра . . . . .	22
6. Лабораторна робота № 6. Визначення інтегральної чутливості напівпровідникового фотоелемента . . . . .	29
7. Лабораторна робота № 7. Визначення сталої Стефана-Больцмана за пірометричним методом . . . . .	33
8. Лабораторна робота № 8. Визначення сталої Планка . . . . .	38
9. Лабораторна робота № 9. Вивчення закону радіоактивного розпаду . . . . .	43
10. Лабораторна робота № 10. Дослідження поглинання $\gamma$ - променів речовиною . . . . .	48
11. Лабораторна робота № 11. Визначення довжини хвилі де Бройля електрона . . . . .	52
12. Лабораторна робота № 11. Визначення довжини хвилі лазерного випромінювання . . . . .	57
Додатки . . . . .	63



Навчальне видання

**Авотін Станіслав Сергійович**

**Олійник Надія Миколаївна**

# **ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ З ОПТИКИ ТА АТОМНОЇ ФІЗИКИ**

**Посібник**

**перероблено та доповнено**

Відповідальний за випуск канд. фіз.-мат. наук, доцент С.С. Авотін

Редактор

Коректор

Комп'ютерна верстка – С.С. Авотін

---

Підп. до друку 00. 00 . 2022. Формат 60x84/16. Гарнітура Таймс.

Друк офсет. Обсяг: 3,7 ум.-друк. арк.; 3,7 обл.- вид. арк.

Тираж 300

Замовлення №

---

Виробник – редакційно-видавничий відділ Харківського державного біотехнологічного університету, 61000, м. Харків, вул. Алчевських, 44, тел. +38(057)700-38-88. E- mail: info@btu.kharkov.ua

---

Виготовлювач – дільниця оперативного друку ДБТУ