

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Державний заклад «ПІВДЕННОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ К. Д. УШИНСЬКОГО»**

Фізико-математичний факультет

Кафедра фізики

**ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ З ОПТИКИ**

Методичні рекомендації для студентів

Одеса 2019



УДК 535(076.8)

Укладач:

Совкова Тетяна Сократівна, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики.

Розробка містить програму розділу «Оптика» навчальної дисципліни «Загальна фізика», плани практичних занять, інструкції щодо виконання лабораторних робіт, набір завдань з тестового самоконтролю та список рекомендованої літератури. Призначено для студентів фізичних спеціальностей університетів.

## ЗМІСТ

ВСТУП	4
1. Опис навчальної дисципліни	5
2. Програма навчальної дисципліни	8
3. Лабораторний практикум з оптики	11
3.1. Загальні положення	11
3.2. Інструктаж з охорони праці при виконанні робіт в навчальній лабораторії оптики	13
3.3. Методичні рекомендації до лабораторних робіт практикуму	15
4. Тестові завдання для самоконтролю з розділу «Оптика»	60
4.1. Тестові завдання з однією правильною відповіддю	60
4.2. Тестові завдання з декількома правильними відповідями	73
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	76

## ВСТУП

З усіх форм організації навчання як у середній, так і у вищій школі найбільш активної і самостійної роботи здобувачів освіти вимагає виконання робіт лабораторного практикуму, які найбільш сприятливі для показу значущості не тільки придбаних теоретичних, практичних, а й методологічних. Лабораторні роботи передбачають знання фізичних теорій, моделей і понять, методологічних знань, наукових методів емпіричного і теоретичного дослідження, здатність вирішувати фізичні задачі. На лабораторних заняттях формуються уміння застосовувати отримані теоретичні знання при постановці і проведенні експериментальних досліджень, набуваються комунікаційні навички, практичні навички роботи в групі, навички поводження з устаткуванням, освоюються наукові методи і прийоми самостійної пізнавальної діяльності. Обов'язкове спілкування викладача з кожним студентом забезпечує здійснення зворотного зв'язку й, таким чином, дозволяє найбільш повно та ефективно реалізувати компетентнісно-орієнтований підхід до навчання.

Фізичний практикум з оптики спрямований на формування наступних компетентностей: здатності доцільно використовувати отримані теоретичні знання на практиці, відтворювати і спостерігати більшість явищ, що спостерігаються в природі; володіння методикою проведення сучасного фізичного експерименту з оптики; здатності до проведення роботи в фізичній лабораторії відповідно до вимог безпеки життєдіяльності й охорони праці.

Мета даного посібника: ознайомлення студентів з місцем лабораторного практикуму з оптики в навчальному плані, зокрема у вивченні розділу «Оптика» курсу загальної фізики; зі структурою та змістом практикуму; особливостями підготовки до виконання лабораторних робіт і порядком їх виконання та оформлення; методами контролю та критеріями оцінювання виконання робіт практикуму.

## 1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

«Оптика» є четвертим розділом курсу загальної фізики, опанування яким базується на знаннях та вміннях, сформованих в процесі вивчення розділів «Механіка», «Молекулярна фізика та термодинаміка», «Електрика та магнетизм» загальної фізики й потребує володіння способами диференціювання й інтегрування, методами лінійної і векторної алгебри, векторного і тензорного аналізу.

Згідно з навчальним планом при навчанні розділу «Оптика» передбачені:

- лекції;
- практичні заняття з розв'язання задач;
- лабораторні заняття;
- самостійна робота студентів;
- екзамен.

**Лекція** є однією з традиційних форм організації навчального процесу в закладах вищої освіти (ЗВО), яка дозволяє економно, з мінімальними затратами часу викладача і студентів, надати великий обсяг інформації з фізики. Вона передбачає: опрацювання значної інформації, виділення і конспектування основних положень, аналіз дослідів і формул. В процесі підготовки до лекції викладач передбачає завдання для самостійної роботи студентів.

**Практичне заняття** — форма навчального заняття, що організує детальний розгляд окремих теоретичних положень навчальної дисципліни та формує вміння і навички їх практичного застосування через індивідуальне виконання відповідно до сформульованих завдань. До практичних занять у фізиці відносять заняття із розв'язування задач, виконання лабораторних робіт, практикуми, семінари, проектування, заняття, що передбачають дослідницьку роботу. Планування практичних занять ґрунтується на навчальних планах і робочих програмах.

**Практичні заняття з розв'язання задач** при опануванні розділу «Оптика» передбачають:

– розв’язання задач різного рівня викладачем та (або) студентами на дошці з їх аналізом і коментуванням;

– самостійне розв’язування задач в аудиторії та в позааудиторний час (домашнє завдання);

– поточний контроль виконання завдань для самостійної роботи з метою визначення успішності засвоєння матеріалу, сформованості вмінь, знаходження шляхів уникнення помилок і подолання проблем, які виникають серед студентів при вивченні конкретних тем;

– проведення двох рубіжних тестових контрольних робіт.

**Лабораторне заняття** – форма практичного навчального заняття, за якого студенти під керівництвом викладача особисто проводять натурні або імітаційні експерименти чи досліди з метою практичної перевірки і підтвердження окремих теоретичних положень навчальної дисципліни, набувають практичних навичок роботи з лабораторним обладнанням, устаткуванням, вимірювальною апаратурою обчислювальною технікою, оволодівають методикою експериментальних досліджень. Проведенню практикуму передують інструктаж з техніки безпеки.

Для успішного виконання робіт практикуму необхідна попередня самостійна підготовка, в першу чергу теоретична.

Методичне забезпечення практикуму:

- навчальна програма дисципліни;
- опорні конспекти лекцій;
- інструктивно-методичні матеріали до лабораторних робіт.
- рекомендації до самостійної роботи студентів.

**Структура лабораторного заняття:** проведення поточного контролю підготовленості студентів до виконання конкретної лабораторної роботи, виконання її завдань, підготовка індивідуального звіту про виконану роботу та його захист. Захист лабораторної роботи оцінюється викладачем. Оцінки за виконання лабораторних робіт з розділу «Оптика» враховується при визначенні

семестрової підсумкової оцінки. Разом з цим, виконання всіх запланованих робіт практикуму є необхідною умовою допуску до семестрового екзамену.

**Самостійна робота** студента – одна з організаційних форм навчання, що регламентується навчальним планом і виконується студентом самостійно поза межами аудиторних занять. Видами самостійної роботи студентів є: опрацювання конспектів лекцій, пошук та вивчення додаткової літератури, розв’язання задач, підготовка до виконання лабораторних робіт та написання звітів, проведення самоконтролю знань. Індивідуальних науково-дослідних завдань для студентів з розділу «Оптика» не планується, тому окрема оцінка за самостійну роботу не виставляється.

Таким чином, підсумкова (семестрова) оцінка студента з розділу «Оптика» складається з оцінок рубіжних тестових контрольних робіт, оцінок за виконання лабораторних робіт, та оцінки, одержаної на семестровому екзамені. Співвідношення в розподілі балів визначається навчальним планом і робочою програмою на поточний рік, зокрема кількістю запланованих лабораторних робіт та рівнем складності тестових завдань. Приклад розподілу балів за видами робіт на 2018-2019 навчальний рік наведено у табл. 1.

Таблиця 1

**Розподіл балів, які отримують студенти\***

Рубіжне тестування												Лабораторні роботи	Екзамен	Сума
Змістовий модуль 1			Змістовий модуль 2			Змістовий модуль 3			Змістовий модуль 4					
32						32						16	20	100
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12			
64														

\* У робочій програмі бали за виконання лабораторних робіт включені до відповідних змістових модулів (ЗМ): ЗМ 1,2 – 8 балів; ЗМ 3, 4 – 8 балів

Разом з попередніми розділами загальної фізики розділ «Оптика» є базовим для подальшого опанування загальної фізики (розділ «Атомна та ядерна фізика») та таких навчальних дисциплін першого (бакалаврського) рівня як «Теоретична



фізика», «Математичні методи фізики», «Електротехніка і радіотехніка», «Астрономія і методика навчання астрономії», «Історія і методологія фізики», «Методика навчання шкільного курсу фізики», а також низки спеціальних дисциплін другого (магістерського) рівня.

## **2. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

### ***Змістовий модуль 1. Вступ. Основи оптики***

#### ***Тема 1. Предмет оптики. Історія розвитку оптики***

Предмет оптики. Оптичні уявлення на зорі становлення фізики. Погляди на хвильову та корпускулярну природу світла. Сучасні уявлення про оптичні явища.

#### ***Тема 2. Основи електромагнітної теорії світла***

Гармонічні коливання та їх характеристики: зміщення, амплітуда, фаза, період, частота, циклічна частота. Хвильові процеси. Класифікація хвиль. Поздовжні й поперечні хвилі. Хвильове рівняння. Монохроматичні плоскі хвилі. Поняття фазової і групової швидкості. Електромагнітна природа світла. Рівняння Максвела. Густина енергії і імпульсу електромагнітних хвиль. Вектор Умова-Пойнтінга. Шкала електромагнітних хвиль.

### ***Змістовий модуль 2. Фотометрія. Геометрична оптика***

#### ***Тема 3. Фотометричні поняття і одиниці***

Світловий потік, сила світла, яскравість, освітленість, світимість. Функція видимості. Еталон сили світла. Фотометри.

#### ***Тема 4. Основні закони геометричної оптики***

Принцип Ферма. Поведінка електромагнітної хвилі на межі розділу двох ізотропних середовищ. Закони відбивання та заломлення. Повне внутрішнє відбивання.

#### ***Тема 5. Основні оптичні прилади***

Формула плоского і сферичного дзеркал. Побудова зображень в дзеркалах. Формула тонкої лінзи. Побудова зображень в лінзах. Оптичні системи. Лупа, телескоп, мікроскоп.

### **Тема 6. Аберації оптичних систем**

Види аберацій. Продовжна й поперечна сферична аберация. Кома. Дисторсія. Дефекти зору.

### **Змістовий модуль 3. Хвильова оптика. Оптика рухомих середовищ**

#### **Тема 7. Явище інтерференції**

Принцип суперпозиції електромагнітних хвиль. Тимчасова і просторова когерентність. Інтерференція Юнга, параметри інтерференційної картини і чинники, що впливають на неї. Методи спостереження інтерференції. Когерентність в оптиці. Бизеркала Френеля, біпризма Френеля, білінза Бйе. Кільця Ньютона. Інтерференція в тонких плівках. Кільця Ньютона.. Застосування інтерференції. Просвітлення оптики. Інтерферометри.

#### **Тема 8. Явище дифракції**

Принцип Гюйгенса-Френеля. Зони Френеля. Дифракція на круглому отворі та екрані. Дифракція Френеля та Фраунгофера. Дифракційна решітка.

#### **Тема 9. Оптика рухомих середовищ**

Ефект Допплера. Поздовжній і поперечний ефекти Допплера. Червоне зміщення у спектрах галактик.

### **Змістовий модуль 4. Взаємодія світла з речовиною**

#### **Тема 10. Поляризація світла**

Поляризація хвиль, падаючих на межу розділу двох ізотропних і прозорих діелектриків. Закон Брюстера. Енергетичні і фазові співвідношення в падаючій, відбитій і заломленій хвилях. Закон Малю.

#### **Тема 11. Дисперсія світла**

Класична електронна теорія дисперсії. Залежності показників заломлення і поглинання від частоти. Нормальна і аномальна дисперсія показника заломлення.

#### **Тема 12. Поглинання та розсіювання світла**

Взаємодія світла з речовиною. Закон поглинання світла. Коефіцієнт поглинання та його фізичний зміст. Розсіювання світла на неоднорідностях середовища та на дисперсних середовищах. Закон Релея.

### Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин*				
	усього	у тому числі			
		л	п	лаб.	с.р.
<b>Модуль 1</b>					
<b>Змістовий модуль 1. Вступ. Основи оптики</b>					
Тема 1. Предмет оптики. Історія розвитку оптики.	18	2			16
Тема 2. Основи електромагнітної теорії світла.	20	2	4		14
<i>Разом за змістовим модулем 1</i>	38	4	4		30
<b>Змістовий модуль 2. Фотометрія. Геометрична оптика</b>					
Тема 3. Фотометричні поняття і одиниці.	14	2	6		6
Тема 4. Основні закони геометричної оптики.	16	2	6	2	6
Тема 5. Основні оптичні прилади.	24	4	6	6	8
Тема 6. Аберації оптичних систем.	10	2	2		6
<i>Разом за змістовим модулем 2</i>	64	10	20	8	26
<b>Змістовий модуль 3. Хвильова оптика</b>					
Тема 7. Явище інтерференції.	24	4	6	4	10
Тема 8. Явище дифракції.	22	4	6	2	10
Тема 9. Оптика рухомих середовищ	12	2	2		8
<i>Разом за змістовим модулем 3</i>	58	10	14	6	28
<b>Змістовий модуль 4. Взаємодія світла з речовиною</b>					
Тема 10. Поляризація світла.	22	4	6	2	10
Тема 11. Дисперсія світла.	14	2	2		10
Тема 12. Поглинання та розсіювання світла.	14	2	2		10
<i>Разом за змістовим модулем 4</i>	50	8	10	2	30
<b>Усього годин</b>	<b>210</b>	<b>32</b>	<b>48</b>	<b>16</b>	<b>114</b>

\* На 2018-2019 навчальний рік

### 3. ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ З ОПТИКИ

#### 3.1. Загальні положення

Згідно з вимогами техніки безпеки лабораторні роботи практикуму студенти виконують по бригадах (2-3 студента). До виконання роботи допускаються студенти, які:

- пройшли інструктаж з охорони праці;
- ознайомилися зі змістом інструкції та необхідним для виконання роботи обладнанням, усвідомлюють цілі та завдання, поставлені в роботі, обсяг роботи та порядок її виконання, володіють необхідними теоретичними знаннями.

До кожної роботи додається *інструкція* до її виконання, у якій наведені:

- мета лабораторної роботи та застосоване обладнання;
- короткі відомості з теорії, необхідні для виконання лабораторної роботи;
- описання методу, який використовується для проведення експерименту;
- описи і принципові схеми експериментальних установок і приладів;
- перелік конкретних завдань і послідовність проведення експериментальних досліджень;
- вказівки щодо оброблення результатів вимірювання та оформлення звіту;
- контрольні питання для підготовки до виконання роботи та її захисту;
- перелік літературних джерел, рекомендованих для більш детального ознайомлення з теорією та методикою експерименту.

Приведені в інструкціях до лабораторних робіт теоретичні відомості охоплюють мінімум матеріалу, необхідний для виконання лабораторної роботи, тому в ході підготовки до роботи необхідно вивчити матеріал, приведений у рекомендованій літературі.

*Під час заняття* студенти повинні: провести необхідні вимірювання, опрацювати результати експерименту і подати дані вимірювань і розрахунків на перевірку і підпис викладачу.

На підставі експериментальних даних студент повинен скласти звіт про лабораторну роботу.

Звіт по лабораторній роботі повинен містити:

- назву лабораторної роботи;
- мету роботи;
- використане обладнання;
- рисунки, схеми (за необхідністю);
- стислі теоретичні відомості й вихідні та розрахункові формули з розшифрованою позначень усіх фізичних величин;
- таблиці з результатами прямих та непрямих вимірювань;
- результати розрахунків похибок;
- висновки за результатами роботи.

*Результати вимірювань* подаються у вигляді таблиці. При цьому при первинних вимірах допускається (і навіть корисно) записувати значення вимірюваної величини у тих одиницях, у яких градуйована шкала приладу (мм, мкА, кількість поділок шкали приладу і т.д.). Це робиться для того, щоб у разі помилки при переході до основних одиниць, можна було її знайти і виправити. У таблиці, що подається у звіті, значення всіх величин наводяться в одиницях системи *SI*, користуючись записом числа в нормованій формі, наприклад:  $\lambda = 6,23 \cdot 10^{-7} \text{ м}$  (6,23 – мантиса,  $10^{-7}$  – порядок). Мантиса числа повинна містити одну цифру до коми. Символ величини, порядок числа та одиниця вимірювання записуються у верхівці таблиці. Числові значення величин (мантиси) записуються у колонці таблиці. Кількість цифр після коми у кожному стовпчику таблиці повинна бути однаковою. Крім того слід пам'ятати, що остання цифра будь-якого числа вважається не точною. Отже кількість цифр у результаті виміру слід обирати з урахуванням відносної похибки вимірювань.

*Висновки* повинні містити: математичний запис та короткий аналіз одержаних результатів, оцінку точності визначення величин та ефективності використаного методу досліджень, порівняння експериментальних результатів з відомими табличними даними.

Лабораторна робота вважається виконаною після успішно проведеного захисту шляхом співбесіди студента з викладачем.

### **3.2. Інструктаж з охорони праці при виконанні робіт в навчальній лабораторії оптики**

Інструктаж з охорони праці є обов'язковим для усіх фізичних осіб, які працюють в лабораторії. Студенти, співробітники і викладачі, які не ознайомлені з інструкцією, не мають права працювати в лабораторії фізичного практикуму. Інструктаж з питань охорони праці проводиться з усіма працівниками перед початком роботи в лабораторії незалежно від їх освіти, стажу роботи або посади.

Первинний інструктаж із студентами проводиться безпосередньо на робочому місці перед виконанням ними лабораторних робіт фізичного практикуму. Запис про проведення інструктажу студентів та про його дату роблять у спеціальному «Журналі реєстрації інструктажів з питань охорони праці». У ньому обов'язково повинні бути підписи всіх фізичних осіб, які були проінструктовані, а також підпис особи, яка проводила інструктаж.

Лабораторні заняття зі студентами проводяться у відведений для них час за розкладом у спеціально обладнаних навчальних лабораторіях з використанням устаткування, пристосованого до умов навчального процесу.

У приміщенні лабораторії забороняється: палити, пити, приймати їжу; захарашувати робочі місця та підступи до них будь-якими речами, які не використовуються при виконанні лабораторної роботи (головні убори, верхній одяг, портфелі, сумки, тощо).

Студенти не мають права заходити в лабораторію без дозволу відповідального працівника (старшого лаборанта) або викладача – керівника лабораторних занять.

Перед початком виконання кожної лабораторної роботи студенти повинні ретельно і детально ознайомитись з методичними вказівками щодо її виконання та вимогами техніки безпеки на робочому місці.

Кожний студент повинен отримати від викладача-керівника лабораторних занять дозвіл (допуск) на виконання лабораторної роботи, передбаченої його власним розкладом. Без цього дозволу (допуску) студентам категорично забороняється самостійно включати електричні установки та виконувати будь-які маніпуляції з оптичними приладами.

Перше вмикання електричної установки (оптичного приладу) студенти здійснюють лише під безпосереднім наглядом лаборанта чи викладача - керівника лабораторних занять.

Увімкнуту електроустановку забороняється залишати без догляду. Не дозволяється також працювати на ній одному, без напарника.

При виконанні лабораторної роботи треба суворо дотримуватись методичних вказівок щодо порядку вмикання і вимикання оптичних та електричних приладів, а також вимог техніки безпеки при роботі з електроустановками та оптичними приладами.

Студентам категорично забороняється виконувати роль «технічних консультантів» при виконанні тієї чи іншої лабораторної роботи іншими студентами.

Під час роботи необхідно підтримувати належним чином чистоту, порядок на робочому місці, суворо дотримуватись правил техніки безпеки.

Після виконання експериментальної частини лабораторної роботи студенти повинні обов'язково показати одержані результати керівнику занять на перевірку їх достовірності та для їх підписання. З дозволу викладача чи лаборанта інженера, які обслуговують практикум, треба вимкнути електроустановку, привести в порядок своє робоче місце, вимкнути електроживлення на робочому місці, повідомити про це керівника занять і лише після цього залишити лабораторію.

### 3.3. Методичні рекомендації до лабораторних робіт практикуму

За своїм змістом експериментальні лабораторні роботи на оптичному практикумі розділені на дві складові: роботи з геометричної оптики (перший тур) та з хвильової оптики (другий тур).

Протягом семестру студенти, як правило, виконують 8-12 експериментальних лабораторних робіт з оптики згідно з навчальним планом.

Орієнтовний перелік лабораторних робіт з оптики представлено у табл.2.

Таблиця 2

#### Теми лабораторних робіт

№ п/п	Назва роботи
Роботи першого туру	
1	Визначення показника заломлення рідини методом увігнутого дзеркала
2	Повне внутрішнє відбиття
3	Визначення показника заломлення рідини за допомогою системи лінз
4	Визначення показника заломлення скла за допомогою мікроскопу
5*	Визначення показника заломлення плоско-паралельної пластини
6*	Визначення фокусної відстані системи лінз
Роботи другого туру	
7	Визначення довжини світлової хвилі за допомогою біпризми Френеля
8	Визначення радіуса кривизни лінзи й довжини світлової хвилі за допомогою кілець Ньютона
9	Визначення сталої дифракційної решітки
10	Перевірка закону Малюса
11*	Вивчення інтерференції лазерного випромінювання на двох щілинах
12*	Спостереження дифракції на круглому отворі

\*Роботи, що не виконуються в 2018-2019 навчальному році.



## Лабораторна робота №1

### ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ РІДИНИ МЕТОДОМ УВІГНУТОГО ДЗЕРКАЛА

**Мета роботи:** дослідити утворення зображення в увігнутому сферичному дзеркалі, визначити показник заломлення води за допомогою системи увігнуте дзеркало – водяна лінза.

**Прилади та матеріали:** металеве увігнуте дзеркало, вода, міліметрова лінійка, олівець.

#### Теоретичні відомості

*Сферичне дзеркало* – тіло, що має сферичну поверхню і дзеркально відбиває світло (рис.1).

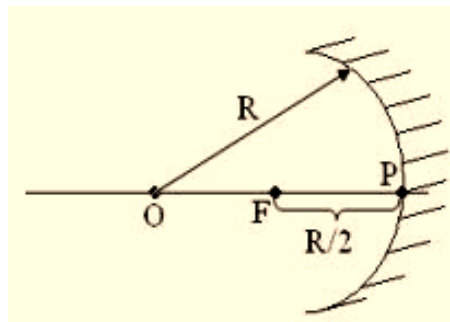


Рис. 1. Основні характеристики сферичного дзеркала

*Оптичний центр* дзеркала ( $O$ ) – точка, проходячи через яку промінь повертається після відбивання у зворотному напрямі. Для сферичного дзеркала – центр кривизни.

*Полюс (вершина)* сферичного дзеркала ( $P$ ) – середина дзеркала, вершина сферичного сегмента.

*Головний фокус* дзеркала – точка ( $F$ ), у якій після відбивання перетинаються всі промені, що падають на дзеркало паралельно головній оптичній вісі.

*Фокусна відстань* ( $f = FP$ ) – відстань від полюса дзеркала до головного фокуса  $F$ . Якщо радіус сфери  $R$ , то фокусна відстань:

$$f = \frac{R}{2} \quad (1)$$

*Головна оптична вісь* – пряма ( $OP$ ), яка проходить через центр сферичної поверхні і полюс дзеркала.

*Побічна оптична вісь* – будь-яка пряма, що проходить через оптичний центр дзеркала.

*Фокальна площина* – площина, перпендикулярна до головної оптичної осі, яка проходить через головний фокус.

*Оптична сила* дзеркала ( $D$ ) – величина, обернена до фокусної відстані:

$$D = \frac{1}{f} \quad (2)$$

*Формулою сферичного дзеркала* називають співвідношення:

$$\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} = \frac{1}{f} = \frac{2}{R}; \quad (3)$$

де  $a_1$  – відстань від дзеркала до предмета,  $a_2$  – відстань від дзеркала до зображення,  $f$  – фокусна відстань,  $R$  – радіус сфери.

В даній формулі відстані до дійсних точок треба брати зі знаком плюс, а до уявних – зі знаком мінус. Дійсними є всі точки на шляху падаючих променів (предмета) і точки зображень, що одержані на перетині відбитих (заломлених) променів. Уявними є точки, що одержані на перетині не самих променів, а їх продовження у напрямку, протилежному ходу променів. Фокус увігнутого дзеркала дійсний, опуклого – уявний.

Для побудови зображень у сферичному дзеркалі потрібно взяти будь-які два характеристичних променя (рис.2):

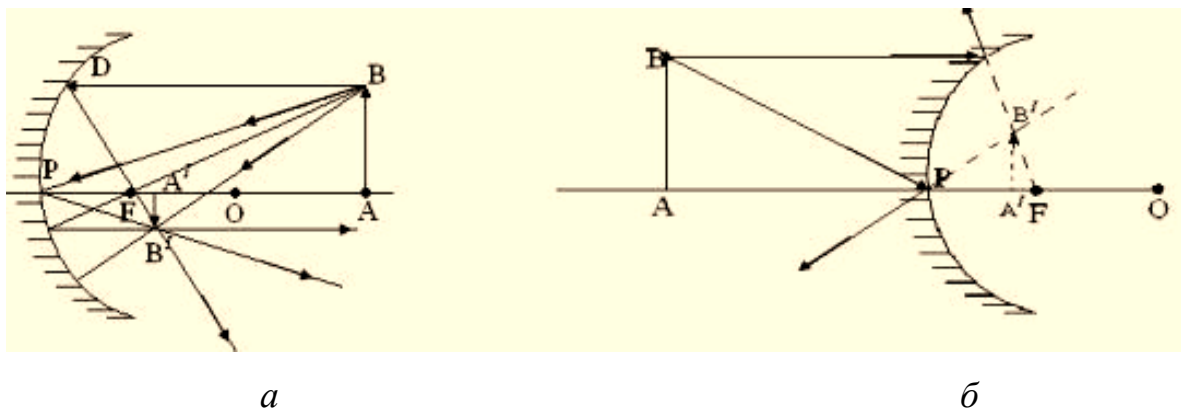


Рис. 2. Побудова зображень в увігнутому (а) та опуклому (б) сферичних дзеркалах

- 1) промені, що проходять через центр  $O$  дзеркала (після відбивання вони протилежно направлені відносно початкового променя);
- 2) промені, які проходять через фокус  $F$  дзеркала (після відбивання вони поширюються паралельно головній оптичній вісі);
- 3) промені паралельні головній оптичній вісі (після відбивання від дзеркала, вони проходять через його фокус);
- 4) промені, які падають у полюс  $P$  дзеркала (вони відбиваються симетрично головній оптичній вісі).

В увігнутому дзеркалі можуть бути одержані зображення:

- 1) дійсне, перевернуте, зменшене, якщо предмет розташований від дзеркала на відстані  $a_1 > R$ ;
- 2) дійсне, перевернуте, збільшене, якщо  $f < a_1 < R$ ;
- 3) уявне, пряме, збільшене, якщо  $a_1 < f$ ;
- 4) дійсне, перевернуте, рівне за розмірами предмету, якщо  $a_1 = R$ .

Зображення в опуклому дзеркалі завжди уявне, пряме, зменшене.

На практиці сферичні дзеркала можуть поєднуватися у системи з іншими оптичними приладами, наприклад з лінзами.

*Формула тонкої лінзи:*

$$\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} = \frac{1}{f} = (n_{2,1} - 1) \cdot \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right), \quad (4)$$

де  $R_1, R_2$  – радіуси кривизни сферичних поверхонь лінзи;  $n_{2,1}$  – відносний показник заломлення матеріалу лінзи, якій на межі скло-повітря практично дорівнює абсолютному показнику заломлення скла  $n$ .

У системі розташованих впритул увігнутого сферичного дзеркала й тонкої збиральної лінзи загальна оптична сила дорівнює:

$$D_c = D_{дз} + 2D_l. \quad (5)$$

Коефіцієнт 2 з'являється, оскільки у лінзі промінь проходить двічі.

## Методика експерименту

У даній роботі показник заломлення рідини (води) визначається за допомогою одержання дійсного перевернутого зображення предмета (олівця) в увігнутому дзеркалі та оптичній системи, яка складається з горизонтально розташованого увігнутого дзеркала й води, що налита у нього, і таким чином створює збиральну лінзу. Схема проходження променів й одержання зображення дана на рис. 3.

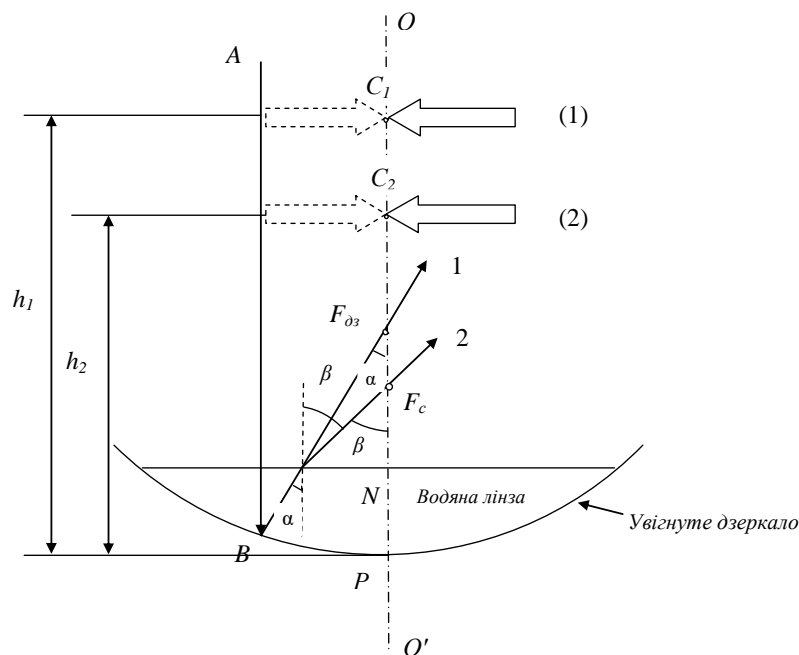


Рис. 3. Схема дослід з визначення показника заломлення води:

- 1 – хід променя  $AB$  після відбивання від дзеркала при відсутності води;
- (1) – відповідне шукане положення предмету та його зображення;
- 2 – хід променя  $AB$  після відбивання від дзеркала й заломлення у воді;
- (2) – відповідне шукане положення предмету та його зображення у системі увігнуте дзеркало – водяна лінза.

При відсутності води в дзеркалі промінь світла  $AB$ , що падає на відбиваючу систему паралельно головній оптичній осі лінзи  $OO'$ , відбиваючись від дзеркала пройде через його головний фокус  $F_{dz}$ . Переміщуючи олівець уздовж оптичної вісі, можна одержати його зображення, яке буде знаходитися з предметом на одній висоті й дорівнювати йому за розмірами – положення (1).

Як відомо, у такому разі предмет повинен знаходитися в оптичному центрі дзеркала  $C_1$ , а відстань  $h_1$  від полюса дзеркала до предмета дорівнює радіусу кривизни дзеркала  $R_{\text{дз}} = 2f_{\text{дз}}$ . Вимірюючи цю відстань можна визначити оптичну силу дзеркала:

$$D_{\text{дз}} = \frac{2}{R_{\text{дз}}} = \frac{2}{h_1}. \quad (6)$$

Якщо в дзеркалі знаходиться вода, промінь  $AB$  після відбиття від дзеркала та заломлення на межі розділу вода – повітря пройде через фокус системи  $F_c$ . Предмет та рівне йому зображення будуть одержані у точці  $C_2$  на відстані, що дорівнює подвійній фокусній відстані системи дзеркало – лінза. При цьому  $2f_c \approx h_2$ , оскільки товщина шару води  $NP$  у дзеркалі невелика й водяну лінзу можна вважати тонкою.

У такому разі можна застосовувати формулу тонкої лінзи. Для утвореної водяної лінзи радіус однієї з її поверхні дорівнює радіусу дзеркала  $R_1 = R_{\text{дз}} = 2f_{\text{дз}}$ , а другої (площина)  $R_2 = \infty$ . Підставляючи ці значення у формулу (4) одержимо:

$$D_l = \frac{1}{f_l} = (n-1) \left( \frac{1}{R_{\text{дз}}} - \frac{1}{\infty} \right) = (n-1) \frac{1}{2f_{\text{дз}}}. \quad (7)$$

Оптична сила системи дзеркало – лінза:

$$D_c = \frac{1}{f_c}. \quad (8)$$

З формули (5) з урахуванням (6), (7), (8) одержимо:

$$D_c = \frac{1}{f_c} = \frac{1}{f_{\text{дз}}} + \frac{2}{f_l} = \frac{1}{f_{\text{дз}}} + (n-1) \frac{1}{f_{\text{дз}}} = \frac{1}{f_{\text{дз}}} (n-1+1) = \frac{n}{f_{\text{дз}}};$$

звідки:

$$n = \frac{f_{\text{дз}}}{f_c}. \quad (9)$$

Формула (9) є наближеною. Так з рис. 3 видно, що показник заломлення води дорівнює відношенню фокусних відстаней тільки за умов, що товщиною шару води  $NP$  у дзеркалі можна нехтувати, а кути падіння  $\alpha$  та заломлення  $\beta$

малі, тобто пучок світла, що створює зображення є параксіальним (усі його промені близькі до головної оптичної вісі):

$$n = \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} \approx \frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{f_{\text{дз.}}}{f_c}.$$

Враховуючи, що  $h_2 \approx 2f_c$ ,  $h_1 = 2f_{\text{дз.}}$ , з формули (9) одержимо:

$$n = \frac{h_1}{h_2}. \quad (10)$$

### Завдання до роботи

1. Переміщуючи предмет відносно увігнутого дзеркала дослідити як змінюється його зображення у дзеркалі.
2. Покласти увігнуте дзеркало на підлогу й переміщувати уздовж його оптичної вісі перпендикулярно розташований до неї олівець до суміщення з його дійсним зображенням.
3. Міліметровою лінійкою виміряти відстань  $h_1$  від полюса дзеркала до олівця. Дослід повторити тричі.
4. Налити у дзеркало невеликий шар води та тричі провести аналогічні вимірювання для системи увігнуте дзеркало-водяна лінза, вимірюючи відстань  $h_2$ .
5. За формулою (10) по середнім значенням  $h_1$  і  $h_2$  розрахувати показник заломлення  $n_{\text{сер}}$  води й оцінити абсолютну та відносну похибки вимірювань:

$$\varepsilon_n = \frac{(\Delta h_1)_{\text{сер}}}{(h_1)_{\text{сер}}} + \frac{(\Delta h_2)_{\text{сер}}}{(h_2)_{\text{сер}}}; \quad \Delta n = n_{\text{сер}} \cdot \varepsilon_n.$$

6. Результати всіх вимірювань та розрахунків занести до таблиці 1.

Таблиця 1.

№ досліджу	$h_1, \text{ м}$	$\Delta h_1 =  h_{1i} - h_{1\text{сер}} , \text{ м}$	$h_2, \text{ м}$	$\Delta h_2 =  h_{2i} - h_{2\text{сер}} , \text{ м}$	$n$	$\varepsilon_n$	$\Delta n$
1					X	X	X
2							
3							
Середнє значення							

7. Порівняти одержаний результат з табличним і зробити висновки, записавши результат вимірювань у вигляді:

$$n = n_{сер} \pm \Delta n.$$

### **Техніка безпеки**

1. Звільніть робоче місце від усіх не потрібних для роботи предметів і матеріалів.
2. Розміщуйте прилади, матеріали, обладнання на своєму робочому місці так, щоб запобігти їх падінню або перекиданню.
3. Чітко з'ясуйте порядок і правила безпечного проведення досліду.

### **Контрольні запитання**

1. Що називається фокусом, фокусною відстанню, оптичним центром, фокальною площиною сферичного дзеркала?
2. Від чого залежить збільшення, яке дає сферичне дзеркало?
3. Які зображення можна одержати в увігнутому та опуклому дзеркалах?
4. Як змінюється зображенні предмета в увігнутому сферичному дзеркалі при наближенні предмета з нескінченності до полюса дзеркала вздовж головної оптичної вісі?
5. Що впливає на точність визначення показника заломлення рідини у проведеному експерименті?

### **Література**

1. Кучерук І. М. Загальний курс фізики. Т.3. Оптика. Квантова фізика / І. М. Кучерук, І. Т. Горбачук. – К.: Техніка, 1999. – 398 с.
2. Загальна фізика. Лабораторний практикум / Під ред. І. Т. Горбачука. – К.: Вища школа, 1992. – С. 413-415.

## Лабораторна робота №2

### ПОВНЕ ВНУТРІШНЄ ВІДБИВАННЯ

**Мета роботи:** Визначити показник заломлення води по куту внутрішнього відбивання.

**Прилади і матеріали:** скляна посудина з водою, диск із циліндричним стержнем, штангенциркуль.

### Теоретичні відомості

*Заломлення, або рефракція* – зміна напрямку поширення випромінювання при проходженні межі розділу двох середовищ з різною оптичною густиною (наприклад, повітря-скло, скло-вода).

Середовище, що характеризується більшим показником заломлення, називають *більш оптично густим*. Промінь світла, що проходить з *менш оптично густого* середовища в більш оптично густе середовище, наближається до перпендикуляра, поставленого в точку падіння (рис. 1а). На основі закону оборотності світлових променів промінь, що йде з більш оптично густого середовища в менш оптично густе, відхиляється від перпендикуляра, поставленого в точку падіння (рис. 1б).

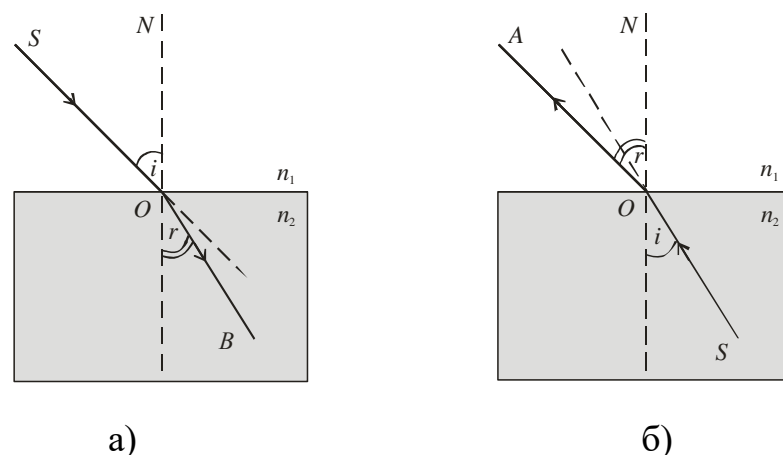


Рис.1. Хід світлового променя через межу поділу двох прозорих середовищ ( $n_1 < n_2$ ).  $i$  – кут падіння;  $r$  – кут відбивання

*Абсолютним показником заломлення ( $n$ )* середовища називають відношення швидкості світла у вакуумі ( $c$ ) до його швидкості у середовищі ( $v$ ):



$$n = \frac{c}{v}. \quad (1)$$

Показник заломлення повітря вважають таким, що дорівнює одиниці, хоч його більш точне значення при нормальних умовах  $n_{\text{повітря}} = 1,000292$ .

*Відносний показник заломлення* дорівнює відношенню абсолютних показників заломлення:

$$n_{1,2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}. \quad (2)$$

На межі двох прозорих середовищ виконується закон заломлення світла:

– промінь падаючий, промінь заломлений і перпендикуляр, поставлений в точку падіння, лежать в одній площині;

– відношення синуса кута падіння до синуса кута заломлення є величина стала для двох певних середовищ і дорівнює відносному показнику заломлення

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n_{2,1}. \quad (3)$$

Коли світло поширюється з більш оптично густого середовища в менш оптично густе, то на межі їхнього поділу відбувається перерозподіл світлових потоків у залежності від кута падіння (рис.2). Якщо кут падіння дорівнює нулю ( $i = 0$ ), то світловий промінь (1) без заломлення проходить з одного середовища в інше. Для деякого кута падіння ( $i < i_0$ ) світловий промінь на межі поділу двох середовищ поділяється на відбитий (2) та заломлений (3). Для будь-якої пари прозорих середовищ завжди існує певний кут падіння, при якому кут заломлення досягає максимального значення  $r_{\text{max}} = 90^\circ$  й заломлений промінь (4) ковзає по межі поділу двох середовищ.

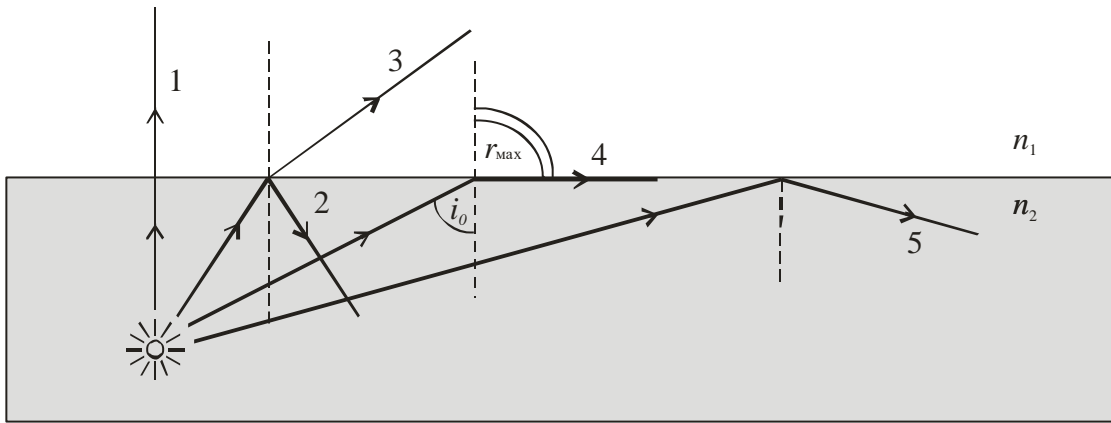


Рис.2. Відбивання та заломлення світла при переході світла з більш оптично густої середовища у менш густе

Такий кут падіння називають *граничним кутом повного внутрішнього відбивання*. Якщо кут падіння перевищуватиме кут  $i_0$  ( $i > i_0$ ), то заломлення світлового променя не відбувається й відбитий промінь (5) повністю залишається в більш оптично густому середовищі. Таке явище називають *повним внутрішнім відбиванням*. Граничний кут повного внутрішнього відбивання для даних середовищ знаходиться за допомогою закону заломлення.

Якщо  $i = i_0$ , то  $r = r_{\max} = 90^\circ$ . Тоді  $\frac{\sin i_0}{\sin 90^\circ} = \frac{n_1}{n_2}$ . Звідки

$$i_0 = \arcsin \frac{n_1}{n_2}. \quad (4)$$

### Методика експерименту

У даній роботі для визначення абсолютного показника заломлення води використовується явище *повного внутрішнього відбивання*. При цьому реально вимірюється відносний показник заломлення води відносно повітря.

Показник заломлення повітря вважають таким, що дорівнює одиниці, хоч його більш точне значення при нормальних умовах  $n_{\text{повітря}} = 1,000292$ . Таким чином

$$n_{\text{води}} \approx \frac{n_{\text{води}}}{n_{\text{повітря}}}.$$

Схема установки для визначення показника заломлення представлена на рис. 3.

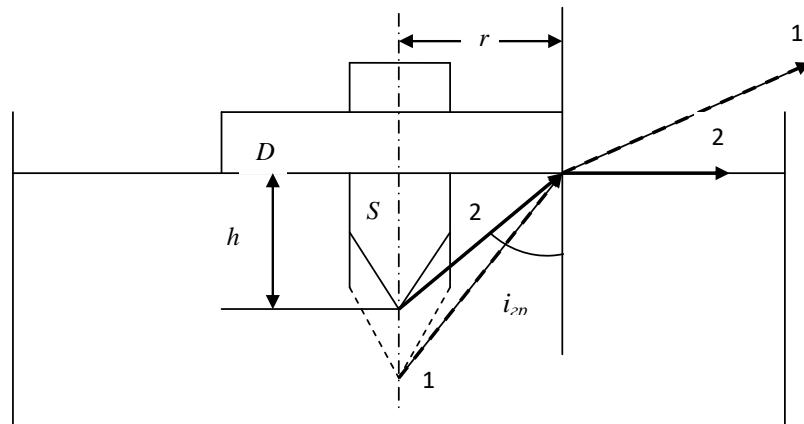


Рис.3. Пристрій для визначення показника заломлення води

У посудині з водою плаває круглий непрозорий диск  $D$ , через центр якого проходить циліндричний стержень  $S$ , який можна вкручуючи переміщувати відносно диску.

Якщо кінець стержня під дном диска знаходиться на достатній глибині від поверхні води, то він видний при спостереженні з повітря (промінь 1-1).

Якщо тепер поступово укорочувати довжину стержня під диском, то кут падіння променя, що йде від кінця стержня, буде зростати і, нарешті, при певній довжині  $h$  стержня стає рівним граничному (промінь 2-2).

Якщо радіус диска  $r$ , то:

$$\sin i_{\text{гр}} = \frac{r}{\sqrt{r^2+h^2}}. \quad (5)$$

Оскільки  $\sin i_{\text{гр}} = \frac{1}{n}$ , то звідси випливає:

$$\frac{1}{n} = \frac{r}{\sqrt{r^2+h^2}}, \quad (6)$$

тоді

$$n = \frac{\sqrt{r^2+h^2}}{r}. \quad (7)$$

### Завдання до роботи

1. Опустити диск у воду.
2. Викрутити стержень на достатню глибину під диском, щоб кінець його було добре видно з будь-якого положення в повітрі (положення 1 на рис.3, позначено пунктиром).

3. Поступово піднімати стержень доти, поки кінець стержня не перестане бути видимим (положення 2).

4. Штангенциркулем виміряти радіус диска і глибину занурення стержня у положенні 2.

5. Усі вимірювання повторити не менш, ніж 3 рази й розрахувати середні значення радіусу диска та довжини зануреної частини стержня.

6. По середнім значенням радіусу та довжини розрахувати показник заломлення води за формулою (7). Результати вимірювань та обчислень занести у таблицю 1.

7. Порівняти одержаний результат з табличним значенням та зробити висновки.

Таблиця 1.

<i>№</i>	<i>r, м</i>	<i>h, м</i>	<i>n</i>	$ n_{\text{табл}} - n $
1			X	X
2				
3				
середнє значення				

### Техніка безпеки

1. Звільніть робоче місце від усіх не потрібних для роботи предметів і матеріалів

2. Перед виконанням роботи необхідно уважно вивчити її зміст і виконання. Не починайте виконувати роботу без дозволу викладача.

3. Розміщуйте прилади, матеріали, обладнання на своєму робочому місці так, щоб запобігти падінню або перекиданню.

4. Під час занурення диска із циліндричним стержнем у воду, будьте обережні, щоб не пошкодити скло і не розплескати воду.

5. Не залишайте робочого місця без дозволу викладача.

### Контрольні запитання

1. В чому полягає явище повного відбиття?
2. Який кут називається граничним?
3. Де застосовується явище повного відбиття?
4. Промінь світла виходить із середовища оптично меншої густини в середовище оптично більш густе під граничним кутом. Під яким кутом цей промінь йшов до першого середовища?
5. Для якого кольору видимого світла граничний кут повного відбивання найбільший?
6. Чим обумовлена різниця між визначеним експериментально й табличним значенням показника заломлення?

### Література

1. Кучерук І. М. Загальний курс фізики. Т.3. Оптика. Квантова фізика / І. М. Кучерук, І. Т. Горбачук. – К.: Техніка, 1999. – 398 с.
2. Загальна фізика. Лабораторний практикум / Під ред. І. Т. Горбачука. – К.: Вища школа, 1992. – С.413-415.

## Лабораторна робота №3

### ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ РІДИНИ ЗА ДОПОМОГОЮ СИСТЕМИ ЛІНЗ

**Мета роботи:** визначити фокусну відстань збиральної лінзи й системи лінз та показник заломлення води.

**Прилади та матеріали:** штатив з лінзою і міліметровою шкалою, освітлювач, екран, стакан з водою, скляна пластинка.

#### Теоретичні відомості

Лінза відноситься до найпростіших центрованих систем. Вона складається з двох заломлюючих поверхонь, які обмежують прозору речовину, наприклад, скло.

Лінза, в якій після заломлення паралельні промені збираються в одну точку, називається збиральною. Лінза, що перетворює пучок паралельних променів на розбіжний, – розсіювальна (рис. 1).

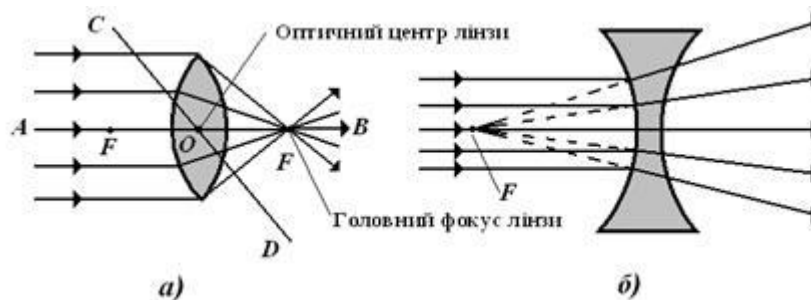


Рис. 1. Збиральна та розсіювальна лінзи

У залежності від комбінації заломлюючих поверхонь лінзи можуть бути: двоопуклі, плоско-опуклі, вгнуто-опуклі, двовгнуті, плоско-вгнуті, опукло-вгнуті. При цьому, якщо матеріал, з якого вони виготовлені, є більш оптично густим, ніж навколишнє середовище, три перші лінзи є збиральними, а три останні – розсіювальними.

*Оптичний центр* лінзи ( $O$ ) – точка, через яку промені проходять без заломлення.

*Головний фокус* лінзи – точка ( $F$ ), у якій після заломлення перетинаються всі промені, що падають на лінзу паралельно головній оптичній вісі.

*Фокусна відстань* ( $f = OF$ ) – відстань від оптичного центру лінзи до головного фокуса  $F$ .

*Головна оптична вісь* – пряма ( $AB$ ), яка проходить через центр лінзи та центри кривизни її поверхонь.

*Побічна оптична вісь* – будь-яка пряма ( $CD$ ), що проходить через оптичний центр лінзи.

*Фокальна площина* – площина, перпендикулярна до головної оптичної осі, яка проходить через головний фокус лінзи.

*Оптична сила* лінзи ( $D$ ) – величина, обернена до її фокусної відстані:

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

Вимірюється в діоптріях:  $1 \text{ дптр} = \frac{1}{\text{м}}$ .

Оптична сила збиральної лінзи додатна (фокус дійсний), розсіювальної – від'ємний (фокус уявний).

Якщо дві лінзи складені впритул, загальна оптична сила системи:

$$D = D_1 + D_2. \quad (2)$$

Додавання до збиральної лінзи розсіювальної зменшує оптичну силу, відповідно збільшує фокусну відстань. Система таких лінз може бути як збиральною, так і розсіювальною, залежно від співвідношення значень їх оптичних сил.

В збиральній лінзі можуть бути одержані зображення:

1) дійсне, перевернуте, зменшене, якщо предмет розташований від дзеркала на відстані  $a_1 > 2f$ ;

2) дійсне, перевернуте, збільшене, якщо  $f < a_1 < 2f$ ;

3) уявне, пряме, збільшене, якщо  $a_1 < f$ ;

4) дійсне, перевернуте, рівне за розмірами предмету, якщо  $a_1 = 2f$ .

Зображення в розсіювальній лінзі завжди уявне, пряме, зменшене.

Для тонкої лінзи справедливими є співвідношення:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2}; \quad (\text{формула тонкої лінзи}) \quad (3)$$

та

$$\frac{1}{f} = D = (n_{1,2} - 1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right); \quad (4)$$

де  $a_1$  – відстань від оптичного центру лінзи до предмета,  $a_2$  – відстань від оптичного центру лінзи до зображення,  $f$  – фокусна відстань,  $R_1, R_2$  – радіуси кривизни поверхонь лінзи;  $n_{1,2}$  – відносний показник заломлення:

$$n_{1,2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}. \quad (5)$$

### Методика експерименту

Фокусну відстань збиральної лінзи можна визначити по формулі тонкої лінзи (3), але виміряти точно відстані  $a_1$  та  $a_2$  важко, оскільки у загальному випадку оптичний центр лінзи не співпадає з її центром симетрії.

У даній роботі фокусну відстань збиральної лінзи вимірюють за методом, який був запропонований Бесселем. При деякій сталій відстані  $L$  між предметом ( $AB$ ) та екраном ( $E$ ) переміщуючи збиральну лінзу уздовж головної оптичної вісі можна одержати два дійсних зображення: збільшене ( $A'B'$ ) та зменшене ( $A''B''$ ) (рис. 2). При цьому, виходячи з принципу оборотності світлових променів і рис. 2, можна довести, що відстань між лінзою та зменшеним зображенням  $A''B''$  у положенні лінзи Л(2) дорівнює відстані  $a_1$  від лінзи до предмета  $AB$  в положенні лінзи Л(1). Відповідно відстань від лінзи до предмета  $AB$  при положенні Л(2) дорівнює відстані  $a_2$  від лінзи до збільшеного зображення  $A'B'$  у положенні лінзи Л(1).

Таким чином, як це видно з рис. 2,

$$L = a_1 + a_2, \quad (6)$$

$$l = a_2 - a_1, \quad (7)$$

де  $l$  – відстань між положеннями лінзи Л1 і Л2 (зміщення лінзи).



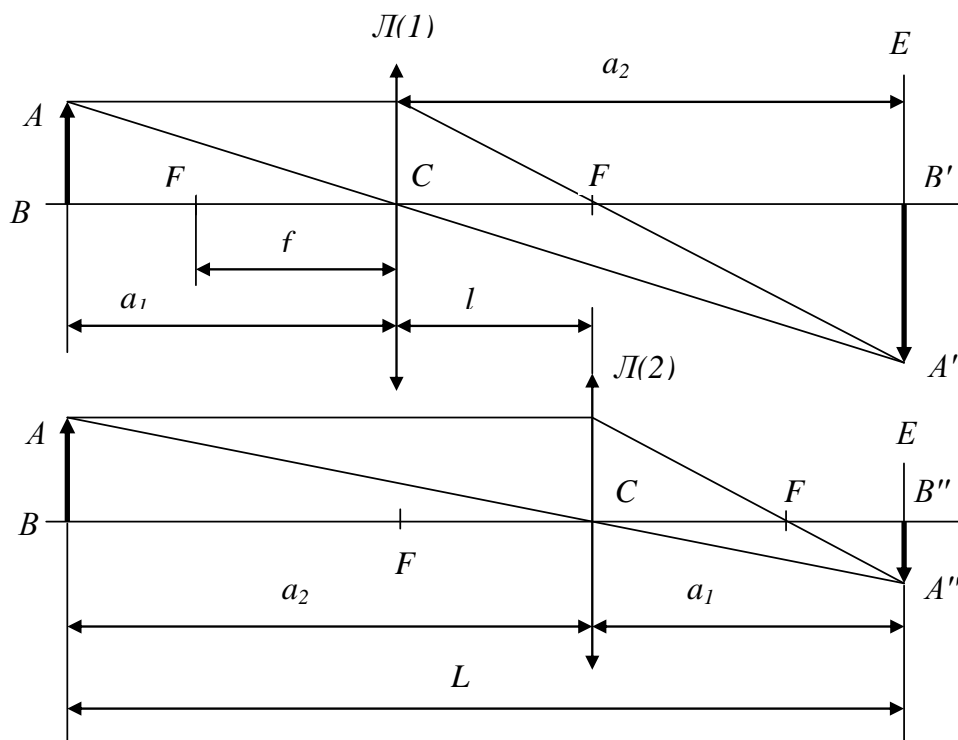


Рис. 2. Схема дослід з визначення фокусної відстані збиральної лінзи

При додаванні (6) і (7) одержимо:

$$a_2 = \frac{L+l}{2}. \quad (8)$$

Відповідно при відніманні (7) з (6) одержимо:

$$a_1 = \frac{L-l}{2}. \quad (9)$$

Фокусну відстань знайдемо підставляючи (8) і (9) у формулу лінзи (3):

$$f = \frac{L^2 - l^2}{4L}. \quad (10)$$

Для визначення показника заломлення води в роботі використовують метод, запропонований С. І. Вавіловим, суть якого описана нижче.

Вимірювання проводять на пристрої, який складається зі штативу, на якому закріплені двоопукла скляна лінза (С) у обоймі і освітлювач, нитка розжарювання (HP) якого слугує предметом для одержання зображень. Лінзу і освітлювач можна переміщати та уздовж шкали, нанесеної на вертикальну штангу (рис. 3). Освітлювач розміщений зверху на штативі, внизу на основі штатива встановлюється екран (Е). Переміщуючи лінзу при сталій відстані  $L$  уздовж шкали можна одержати шукані зображення й виміряти відрізки, необхідні для розрахунку фокусної відстані по формулі (10).

Лінзу обирають з однаковими радіусами  $R$  кривизни поверхонь. Обойма лінзи має форму стакану, у якій можна наливати рідину. Рідина (вода у даному випадку) при цьому приймає форму плоско-увігнутої розсіювальної лінзи ( $B$ ), радіус кривизни одної з поверхонь якої дорівнюватиме радіусу поверхонь лінзи  $R_1 = R$ , а для другої  $R_2 = \infty$ .

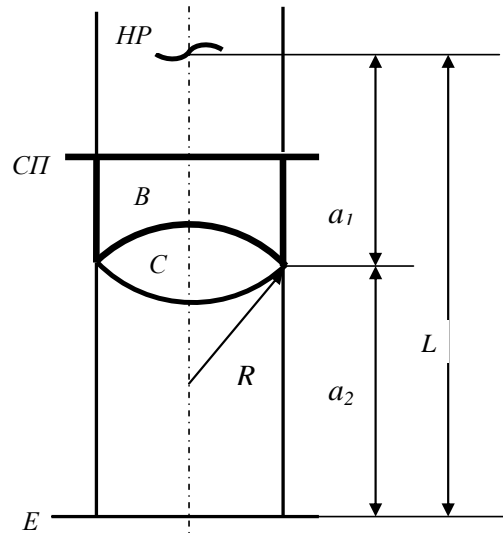


Рис. 3. Схема пристрою

Для кожної з лінз з формули (3) одержимо:

$$\frac{1}{f_C} = D_C = (n_C - 1) \frac{2}{R}, \quad (11)$$

$$\frac{1}{f_B} = D_B = (n_B - 1) \frac{1}{R}, \quad (12)$$

де  $n_C$  і  $n_B$  — показники заломлення скла й води відносно повітря, які практично дорівнюють абсолютним показникам заломлення скла та води.

Поділивши рівняння (11) на (12), одержимо:

$$\frac{f_B}{f_C} = \frac{2(n_C - 1)}{n_B - 1}. \quad (13)$$

Визначимо з (13) показник заломлення води:

$$n_B = \frac{2f_C(n_C - 1)}{f_B} + 1. \quad (14)$$

Для фокусної відстані системи лінз ( $f_{CB}$ ) з рівнянь (2) та (1), з урахуванням від'ємного знака оптичної сили розсіювальної водяної лінзи, одержимо:

$$\frac{1}{f_{CB}} = \frac{1}{f_C} - \frac{1}{f_B}, \quad (15)$$

звідки:

$$\frac{1}{f_B} = \frac{1}{f_C} - \frac{1}{f_{CB}} = \frac{f_{CB} - f_C}{f_C \cdot f_{CB}}. \quad (16)$$

Підставляючи (16) у (14) одержимо:

$$n_B = \frac{2(n_C - 1)(f_{CB} - f_C)}{f_{CB}} + 1. \quad (16)$$

При показнику заломлення скла  $n_C = 1,5$  показник заломлення води буде дорівнювати:

$$n_B = \frac{2f_{CB} - f_C}{f_{CB}}. \quad (17)$$

Фокусні відстані  $f_C$  і  $f_{CB}$  знаходимо за методом Бесселя, вимірюючи відрізки  $a_1$  і  $a_2$  (рис 3). Ці відрізки не дорівнюють точно відстаням від предмета та його зображення до оптичного центра лінзи, але їх різниця достатньо точно визначає зміщення  $l$  оптичного центру, яке входить до розрахункової формули (10).

### Завдання до роботи

1. Установити нитку ( $HP$ ) освітлювача на певній висоті  $L$  над екраном ( $E$ ) і переміщуючи суху скляну лінзу по штативу одержати на екрані чітке збільшене зображення предмета. По шкалі штатива визначити висоту  $L$  і відстань  $a_1$  від нитки розжарення до лінзи.
2. Переміщуючи лінзу вздовж штатива вниз, одержати її чітке зменшене зображення й визначити нове положення лінзи відносно предмета, яке дорівнюватиме  $a_2$ .
3. По формулам (7) і (10) розрахувати зміщення лінзи  $l$  та фокусну відстань скляної лінзи  $f_C$ .
4. Провести аналогічні вимірювання й розрахунки ще двічі, змінюючи положення освітлювача, тобто відстань  $L$ .

5. Налити у об'єм лінзи воду до її країв і накрити зверху скляною пластинкою таким чином, щоб між пластинкою та поверхнею води не було повітряного прошарку. Тричі провести аналогічні вимірювання для системи лінз, вимірюючи відстані  $a'_1$  і  $a'_2$  при таких самих значеннях  $L$ , що й для скляної лінзи, та розрахувати зміщення лінзи  $l'$  і фокусну відстань системи лінз  $f_{CB}$  за формулами (7), (10).
6. За формулою (17) по середнім значенням фокусних відстаней скляної лінзи та системи лінз розрахувати показник заломлення води  $n_B$ .
7. Оцінити похибки вимірювань фокусних відстаней. За абсолютну похибку прийняти середнє значення модуля відхилення визначеної величини від її середнього значення:  $\Delta f_{\text{сер}} = \frac{\sum |f_{\text{сер}} - f_i|}{N}$ , де  $N$  – кількість вимірювань. Усі результати занести до таблиці 1.

Таблиця 1.

№ досліду	$L, \text{ м}$	Скляна лінза					Система лінз					$n_B$
		$a_1, \text{ м}$	$a_2, \text{ м}$	$l, \text{ м}$	$f_c, \text{ м}$	$\Delta f_c, \text{ м}$	$a'_1, \text{ м}$	$a'_2, \text{ м}$	$l', \text{ м}$	$f_{CB}, \text{ м}$	$\Delta f_{CB}, \text{ м}$	
1												X
2												
3												
Середнє значення												

8. Порівняти результат, одержаний для показника заломлення води, з табличним і зробити висновки.

### Техніка безпеки

1. Чітко з'ясуєте порядок і правила безпечного проведення досліду. До роботи з установкою допускаються особи, ознайомлені з її пристроєм і принципом дії.

2. На робочому місці не повинно бути ніяких зайвих предметів і матеріалів.
3. Необхідно бути обережним при роботі з установкою, щоб запобігти падінню або перекиданню оптичних елементів. Стежте за справністю усіх кріплень в приладах і пристроях.
4. Не слід торкатися пальцями поверхонь оптичних деталей.
5. Освітлювач включається тільки на час спостережень і вимірів. Після закінчення вимірів він має бути відключений від мережі.

### **Контрольні запитання**

1. Що таке головній фокус, фокусна відстань, оптична сила лінзи?
2. Які зображення можна одержати в збиральній та розсіювальній лінзах та за яких умов?
3. Як впливає додавання розсіювальної лінзи до збиральної на фокусну відстань?
4. Якій фізичний зміст абсолютного та відносного показників заломлення?
5. Які переваги метода Бесселя при визначенні фокусної відстані лінзи ?
6. Пояснить методику визначення показника заломлення рідини, що застосована в даній роботі.
7. Що впливає на точність визначення показника заломлення рідини у проведеному експерименті?

### **Література**

1. Кучерук І. М. Загальний курс фізики. Т.3. Оптика. Квантова фізика / І. М. Кучерук, І. Т. Горбачук. – К.: Техніка, 1999. – 398 с.
2. Загальна фізика. Лабораторний практикум / Під ред. І. Т. Горбачука. – К.: Вища школа, 1992. – С.413-415.

## Лабораторна робота № 4

### ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ СКЛА ЗА ДОПОМОГОЮ МІКРОСКОПА

**Мета роботи:** вивчити будову, принцип дії мікроскопа, визначити показник заломлення скляної пластинки

**Прилади та матеріали:** мікроскоп МБУ-4А, мікромметр, скляна плоско паралельна пластинка з нанесеними на поверхні штрихами

#### Теоретичні відомості

Мікроскоп являє собою складний оптичний прилад для спостереження мікрооб'єктів і одержання їх збільшеного зображення. Принципіальна оптична схема роботи мікроскопа зображена на рисунку 1.

Мікроскоп складається з двох основних частин: об'єктива (Об) і окуляра (Ок).

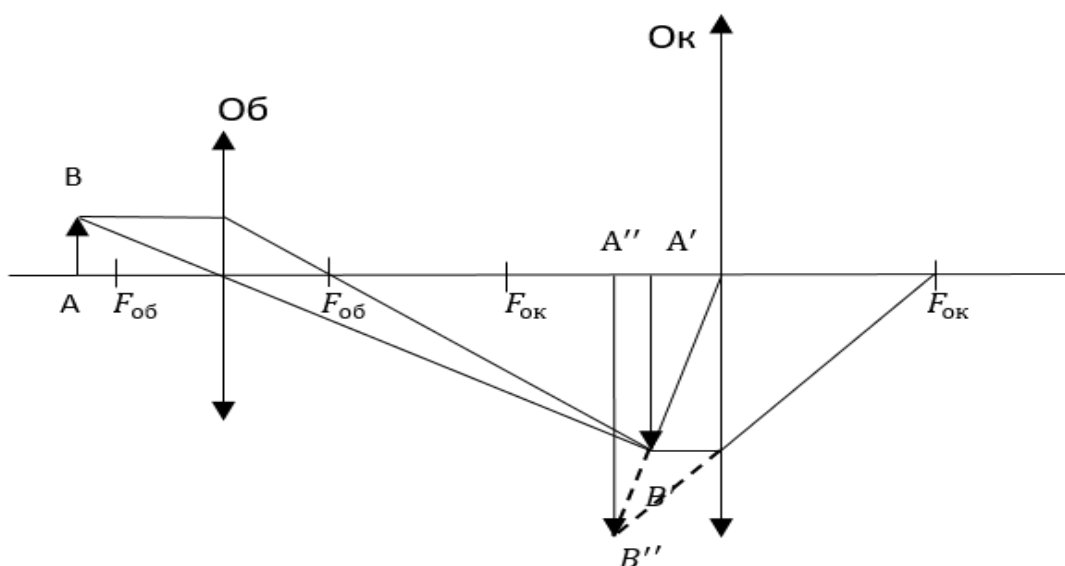


Рис. 1. Хід променів у мікроскопі

Відстань між заднім фокусом об'єктива і переднім фокусом окуляра називається оптичною довжиною тубуса мікроскопа. Об'єкт  $AB$  розташовується перед об'єктивом поблизу його фокуса на відстані більшої фокусної відстані об'єктива.

Об'єктив дає дійсне, збільшене, перевернуте проміжне зображення  $A'B'$ .

Це зображення  $A'B'$  знаходиться поблизу переднього фокуса окуляра (між фокусом і окуляром) і розглядається оком спостерігача через окуляр, як через лупу.

Зображення  $A''B''$  в окулярі одержується пряме, збільшене й уявне. З рис.1 видно, що промені побудови після окуляра розходяться і зображення  $A''B''$  існує на сітківці ока.

Повне збільшення мікроскопа  $k_M$  визначається як добуток лінійного збільшення об'єктива  $k_{об}$  і видимого збільшення окуляра  $k_{ок}$ .

$$k_M = k_{об} \cdot k_{ок} \quad \text{або} \quad k_M = \frac{\Delta}{f_{об}} \cdot \frac{D}{f_{ок}} = \frac{\Delta \cdot D}{f_{об} \cdot f_{ок}}, \quad (1)$$

де  $\Delta$  – оптична довжина тубуса мікроскопа;  $f_{об}$  – фокусна відстань об'єктива;  $f_{ок}$  – фокусна відстань окуляра;  $D=25$  см – відстань найкращого зору.

### Методика експерименту

В основі методу лежить явище уявного зменшення товщини скляної пластинки внаслідок змінення швидкості світлових променів, що проходять через неї нормально до її поверхні. Схема проходження променів дана на рис. 2.

В точку  $A$ , що знаходиться на нижній поверхні скляної пластинки, падають два промені світла 1 і 2. Луч 2 падає на пластинку нормально до її поверхні і тому проходить крізь пластинку і виходить в повітря в точці  $C$ , не відчуваючи заломлення. Луч 1 заломлюється і виходить з пластинки в точці  $O$  у напрямку до точки  $D$ .

При виході з пластинки промінь  $OD$  утворює кут заломлення  $i_2$ , який більше, ніж кут падіння  $i_1$ . Якщо дивитися з точки  $D$  у напрямку  $DO$ , то спостерігач буде бачити точку перетину променів  $OD$  і  $AC$  не в точці  $A$ , а в точці  $E$ , тобто товщина пластинки буде здаватися рівною  $CE$ . Уявна товщина пластинки  $CE = h$  менше істинної її товщини  $CA = H$  (див. рис. 2).

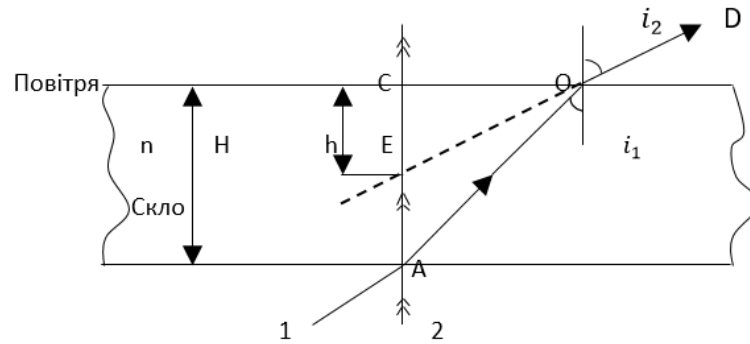


Рис.2. Хід променів крізь плоско паралельну пластинку

Для променів, близьких до нормально падаючим променям, кути падіння і заломлення малі. В цьому випадку відношення синусів можна замінити відношенням тангенсів і за законом заломлення світла написати (розглядаючи зворотний хід променів, тобто від  $D$  до  $A$ ):

$$n_{\text{скла}} = \frac{\sin i_2}{\sin i_1} = \frac{\operatorname{tgi}_2}{\operatorname{tgi}_1}. \quad (2)$$

Після відповідних перетворень одержимо:

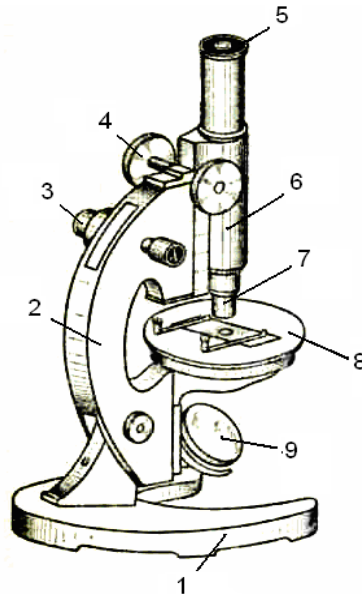
$$n = \frac{H}{h}, \quad (3)$$

де  $H$  - дійсна товщина скляної пластинки;  $h$  - уявна товщина пластинки.

Отже, показник заломлення скла можна знайти з відношення справжньої товщини скляної пластинки до її уявної товщини. Дійсна товщина пластинки вимірюється мікрометром, а уявна – мікроскопом з мікрометричним гвинтом. Для цього використовують скляну плоско паралельну пластинку, на нижню и верхню поверхні якої нанесені тонкі подряпини, що утворюють кут  $90^\circ$  (горизонтальний та вертикальний штрихи), і вимірюють переміщення тубуса мікроскопа при переведенні різкості з одного штриха на інший.

У роботі використовується мікроскоп МБУ-4А, представлений на рис. 3.





*Рис. 3. Будова мікроскопа МБУ-4А: 1 - основа; 2 - тубусотримач; 3 - мікрогвинт; 4 – гвинт грубого фіксування; 5 - окуляр ; 6 - тубус; 7 – об’єктив; 8 – предметний столик; 9 – дзеркало.*

### **Завдання до роботи**

1. Мікрометром декілька разів виміряти дійсну товщину скляної пластинки  $H$  в тому місці, де нанесені штрихи.
2. Обертанням гвинта грубого фіксування 4 підняти тубус в крайнє верхнє положення. Покласти пластинку на предметний столик мікроскопа під об’єктив так, щоб обидва штриха перетнули оптичну вісь приладу. За допомогою дзеркала 9 мікроскопа добитися рівномірної оптимальної яскравості поля зору в окулярі.
3. Поставити напроти нерухокої різки на барабані мікрогвинта 3 нульову поділку шкали (поділка  $A_1=0$ ), і переміщаючи тубус мікроскопа гвинтом 4, добитися чіткого зображення видимого в мікроскопі штриха, нанесеного на верхню поверхню пластинки. Надалі положення гвинта 4 не змінюють.
4. Мікрогвинтом опустити тубус так, щоб чітко було видно подряпину на нижній грані пластинки, підраховуючи повне число обертів  $N$  барабану, і відмітити поділку  $A_2$  на шкалі барабана мікрогвинта, тобто кількість поділок шкали при останньому неповному оберті.
5. Визначити уявну товщину скляної пластинки за формулою :

$$h = N \cdot P \cdot b + (A_2 - A_1) \cdot b \quad (4)$$

де  $P$  – кількість поділок на шкалі барабана,  $b$  – ціна поділки. Для мікроскопу МБУ-4А  $P = 50$ ,  $b = 0,002$  мм. (При  $A_1=0$   $h_1 = N \cdot P \cdot b + A_2 \cdot b$ ).  
Микрогвинтом повернути тубус у початкове верхнє положення, підраховуючи оберти, і уточнити поділку  $A_1$ , яка відповідає найбільш чіткому зображенню й може не співпадати точно с початковою (з нулем). Підрахувати  $h_2$  за формулою (4). При цьому  $A_1$  беремо зі знаком «плюс», якщо нульова поділка знаходиться за ризькою, і зі знаком «мінус», якщо не доходить до неї. Повторити вимірювання не менше 5 разів.

6. Розрахувати значення показника заломлення за формулою (3) та абсолютну й відносну похибки вимірювань. За абсолютну похибку прийняти середнє значення модуля відхилення визначеної величини від її середнього значення

$$\Delta n_{\text{сер}} = \frac{\sum |n_{\text{сер}} - n_i|}{N}, \text{ де } N - \text{кількість вимірювань. Усі результати занести до}$$

таблиці 1.

Таблиця 1

№ досліду	Відлік на верхній штрих $A_1$	Кількість повних обертів $N$	Відлік на нижній штрих $A_2$	Уявна товщина пластинки $h$ , мм	Дійсна товщина пластинки $H$ , мм	Показник заломлення $n$	$ n_{\text{сер}} - n_i $	Відносна похибка $\varepsilon$
1								
2								
3								
4								
5								
Середнє значення								

8. Зробити висновки, записавши результат вимірювань у вигляді:

$$n = n_{\text{сер}} \pm \Delta n_{\text{сер}}$$

### **Техніка безпеки**

1. Звільніть робоче місце від усіх не потрібних для роботи предметів і матеріалів.
2. Розміщуйте прилади, матеріали, обладнання на своєму робочому місці так, щоб запобігти їх падінню або перекиданню.
3. Бути обережним при роботі зі скляними пластинками.
4. Стежте за справністю всіх кріплень у приладах і пристроях.
5. Чітко з'ясуйте порядок і правила безпечного проведення досліду.

### **Контрольні запитання**

1. Побудуйте зображення предмета в мікроскопі.
2. Від яких параметрів залежить збільшення в мікроскопі?
3. Що називається абсолютним і відносним показниками заломлення ?
4. Від чого залежить абсолютний показник заломлення речовини?
5. Яке зображення подряпин ми отримуємо при зміні показника заломлення скла за допомогою мікроскопа?
6. Що впливає на точність визначення показника заломлення у проведеному експерименті?

### **Література**

1. Кучерук І. М. Загальний курс фізики. Т.3. Оптика. Квантова фізика / І. М. Кучерук, І. Т. Горбачук. – К.: Техніка, 1999. – 398 с.
2. Загальна фізика. Лабораторний практикум / Під ред. І. Т. Горбачука. – К.: Вища школа, 1992. – С.413-415.

## Лабораторна робота №7

### ВИЗНАЧЕННЯ ДОВЖИНИ СВІТЛОВОЇ ХВИЛІ ЗА ДОПОМОГОЮ БІПРИЗМИ ФРЕНЕЛЯ

**Мета роботи:** вивчити інтерференцію світла, що виникає при використанні біпризми Френеля, визначити довжину світлової хвилі для світла даного кольору.

**Прилади та матеріали:** оптична лава, джерело світла (проекційний ліхтар), світлофільтри, розсувна щілина, біпризма Френеля, окулярний мікрометр, міліметрова лінійка.

#### Теоретичні відомості

Інтерференція світла – перерозподіл інтенсивності світла в результаті накладення декількох світлових хвиль, що супроводжується чергуванням в просторі максимумів і мінімумів інтенсивності. Її розподіл називається інтерференційною картиною.

Однією з основних умов спостереження інтерференції світла є когерентність хвиль, тобто постійність у часі різниці фаз коливань, що складаються. Тільки в цьому випадку в області перекриття світлових пучків може виникнути стійка інтерференційна картина.

В силу особливих властивостей випромінювання незалежні джерела світла виявляються некогерентними. Однак можна здійснити різні схеми, в яких штучно створюються когерентні пучки, шляхом розділення первинного пучка, наприклад, на два та подальшого їх об'єднання в певній області простору після проходження певного для кожного пучка оптичного шляху  $L$ :

$$L = n \cdot S, \quad (1)$$

де  $S$  – геометричний шлях,  $n$  – показник заломлення середовища. Інтенсивність у кожній точці визначається різницею фаз  $\delta$  хвиль у пучках, що накладаються, яка зв'язана з різницею хода  $\Delta$ :

$$\Delta = L_2 - L_1 = n_2 S_2 - n_1 S_1 \quad (2)$$

співвідношенням:

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda_0} \Delta, \quad (3)$$

де  $\lambda_0$  – довжина хвилі у вакуумі.

Максимуми інтенсивності спостерігаються в точках, у яких різниця ходу хвиль, що накладаються, дорівнює цілому числу ( $m = 0, 1, 2, \dots$ ) довжин хвиль:

$$\Delta = m\lambda_0 \quad (\delta = 2\pi m), \quad (4)$$

а мінімумам відповідає умова:

$$\Delta = (2m + 1) \frac{\lambda_0}{2} \quad (\delta = (2m + 1)\pi); \quad (5)$$

Одна зі схем спостереження інтерференції здійснюється за допомогою біпризми Френеля, в якій для одержання когерентних хвиль використовується явище заломлення світла. Біпризма Френеля представляє собою дві призми з малими ( $\beta < 1^\circ$ ) заломлюючими кутами, які з'єднані основами (рис. 1).

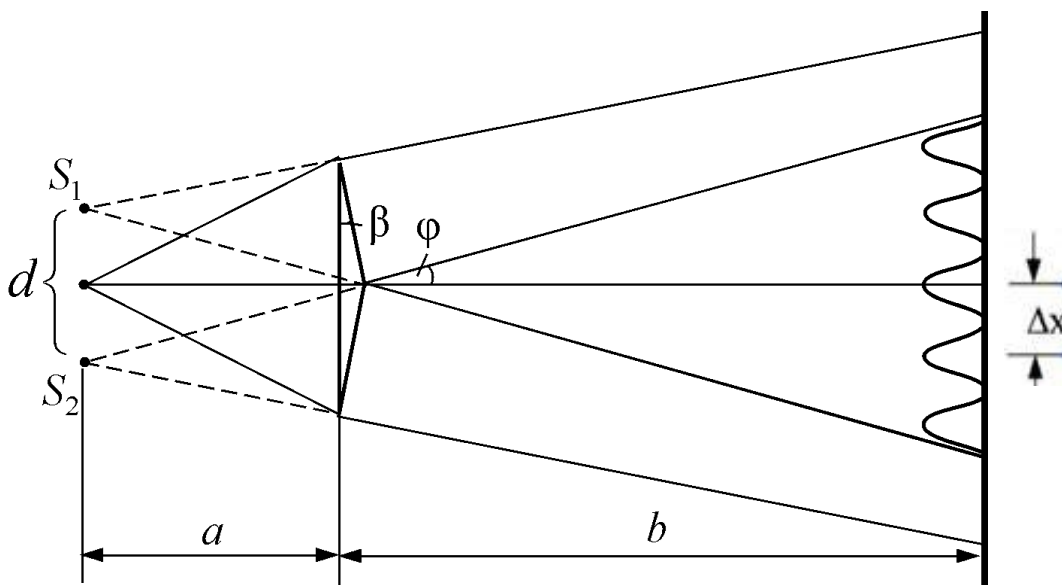


Рис. 1. Хід променів у біпризмі Френеля

Джерелом світла служить вузька щілина  $S$ , розташована паралельно ребру біпризми. При проходженні світла через верхню і нижню половини біпризми первинна світлова хвиля розділяється на дві когерентні хвилі, які нібито виходять з точок  $S_1$  і  $S_2$  – уявних лінійних зображень джерела  $S$  (рис. 1, а) При

малому значенні заломлюючого кута біпризми уявні джерела близько розташовані й перебувають на тій же відстані від біпризми, що і джерело  $S$ . Розділені пучки частково перекриваються, утворюючи зону інтерференції. В будь-якій точці перекриття пучків (зона або поле інтерференції) буде спостерігатися інтерференційна картина (рис 1, б), яка уявляє чергування світлих та темних смуг, розташованих на однаковій відстані  $\Delta x$  одна від одной:

$$\Delta x = \frac{\lambda \cdot l}{d} \quad (6)$$

де  $d$  – відстань між уявними джерелами;  $l = a + b$  – відстань від джерела (щілини) до екрана,  $\lambda$  – довжина світла у даному середовищі:

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n} \quad (7)$$

У повітрі вважаємо  $n = 1$ .

### Методика експерименту

Метод визначення довжини хвилі зводиться до вимірювання відстані  $\Delta x$  між сусідніми інтерференційними смугами й відстані між уявними джерелами  $d$ .

Роботу виконують на оптичній лаві - масивної направляючої, на якій встановлені рейтери з необхідними оптичними елементами, положення яких по висоті й нахил регулюються спеціальними гвинтами. Послідовність розташування елементів показана на рис. 2.

Біпризма і щілина знаходяться в спеціальних тримачах, які забезпечують їх поворот навколо поздовжньої осі і дозволяють встановлювати ребро біпризми паралельно щілини.

Але якщо заломлюючий кут  $\beta$  призми дуже малий і малі кути падіння променів на грань призми, то усі промені будуть відхилятися призмою практично на однаковий кут  $\varphi$ , який дорівнює:

$$\varphi = (n - 1) \cdot \beta, \quad (8)$$

де  $n$  – показник заломлення матеріалу призми ( $n = 1,54$ ), причому  $tg\beta \cong \beta$  (рад).

Тоді для відстані  $d$  одержимо:

$$d = 2a \cdot \operatorname{tg} \varphi \cong 2a \cdot \beta \cdot (n-1). \quad (9)$$

Довжина хвилі з (1) дорівнює

$$\lambda = \frac{\Delta x \cdot d}{l}, \quad (10)$$

або з урахуванням (8),

$$\lambda = \frac{2a \cdot \beta \cdot (n-1) \Delta x}{l} \quad (11)$$

### Завдання до роботи

1. Встановити на оптичній лаві усі оптичні елементи. Освітлювач, середина щілини й окулярний мікрометр повинні бути на однаковій висоті.
2. Помістіть біпризму на відстані 40-60 см від щілини, а окулярний мікрометр на відстані 7-20 см від біпризми.
3. Обертанням регулюючих гвинтів, добитися паралельності заломлюючих ребер біпризми і щілини.
4. Вставити в гніздо красний світлофільтр. Дивлячись в окулярний мікрометр змінювати ширину щілини й переміщувати мікрометр, доки в полі зору не з'являться чіткі інтерференційні смужки.
5. По шкалі окулярного мікрометра декілька разів виміряти відстань  $x$  між двома найбільш віддаленими одна від одної світлими (темними) смужками, які ще чітко видно на інтерференційній картині, й підрахувати кількість  $N$  темних (світлих) смужок, які знаходяться між узятими смужками. Ціна поділки шкали мікрометра 0,1 мм.
6. Визначити відстань  $\Delta x$  між двома сусідніми смужками:

$$\Delta x = \frac{x}{N} \quad (12)$$

7. Міліметровою лінійкою виміряти відстань  $l$  від щілини до фокальної площини окулярного мікрометра та відстань  $a$  від щілини до тупого кута біпризми.
8. За одержаними даними розрахувати довжину хвилі червоного світла за формулою (11). Заломлюючий кут призми  $\beta = 0,42^\circ = 7,43 \cdot 10^{-3} \text{ рад}$ .

9. Замінити червоний фільтр на зелений і провести аналогічні виміри й розрахунки.

10. Повторити вимірювання для червоного й зеленого фільтрів не менш ніж три рази. Розрахувати абсолютну й відносну похибки вимірювань довжини хвилі. За абсолютну похибку прийняти середнє значення відхилення виміряної величини від її середнього значення  $\Delta\lambda_i = |\lambda_i - \lambda_{\text{ср.}}|$ :

$$\Delta\lambda = \frac{\sum |\lambda_i - \lambda_{\text{ср.}}|}{N_{\text{вим.}}}, \quad (13)$$

где  $N_{\text{вим.}}$  – число вимірювань;

$$\varepsilon_\lambda = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_{\text{ср.}}}. \quad (14)$$

11. Результати усіх вимірювань і розрахунків занести в таблицю 1.

12. Порівняти одержані результати з табличними значеннями довжин хвиль для червоного й зеленого світла. Зробити висновки.

13. Таблиця 1.

Фільтр	$N_{\text{вим.}}$	$l, \text{ м}$	$a, \text{ м}$	$x, \text{ м}$	$N$	$\Delta x, \text{ м}$	$\lambda, \text{ м}$	$\Delta\lambda, \text{ м}$	$\varepsilon$
Червоний	1								X
	2								
	3								
	Середнє значення		X	X	X	X			
Зелений	1								X
	2								
	3								
	Середнє значення		X	X	X	X			

### Техніка безпеки

1. Чітко з'ясуєте порядок і правила безпечного проведення досліду.
2. До роботи з установкою допускаються особи, ознайомлені з її пристроєм і принципом дії.
3. На робочому місці не повинно бути ніяких зайвих предметів і матеріалів.



4. Необхідно бути обережним при роботі з установкою, щоб запобігти падінню або перекиданню оптичних елементів. Стежте за справністю усіх кріплень в приладах і пристроях.
5. Не слід торкатися пальцями поверхонь оптичних деталей.
6. Проекційний ліхтар включається тільки на час спостережень і вимірів. Після закінчення вимірів він має бути відключений від мережі.

### **Контрольні запитання**

1. У чому полягає явище інтерференції?
2. Яка повинна бути різниця фаз і оптична різниця ходу двох когерентних хвиль для одержання максимуму (мінімуму) інтенсивності світла?
3. Які джерела світла називаються когерентними? Умови когерентності хвиль.
4. Чому тупий кут біпризми Френеля повинен бути близьким до  $180^{\circ}$ ?
5. Які є способи утворення когерентних хвиль?
6. З якою метою у роботі може використовуватися допоміжна лінза?
7. Що впливає на точність визначення довжини світла у проведеному експерименті?

### **Література**

3. Кучерук І. М. Загальний курс фізики. Т.3. Оптика. Квантова фізика / І. М. Кучерук, І. Т. Горбачук. – К.: Техніка, 1999. – 398 с.
4. Загальна фізика. Лабораторний практикум / Під ред. І. Т. Горбачука. – К.: Вища школа, 1992. – С.413-415.

## Лабораторна робота №8

### ВИЗНАЧЕННЯ РАДІУСУ КРИВИЗНИ ЛІНЗИ Й ДОВЖИНИ СВІТЛОВОЇ ХВИЛІ ЗА ДОПОМОГОЮ КІЛЕЦЬ НЬЮТОНА

**Мета роботи:** спостерегти на досліді інтерференцію світла в тонкій плівці (у повітряному шарі між лінзою та пластинкою) у вигляді кілець Ньютона, визначити радіус кривизни лінзи та довжину хвилі світла за допомогою кілець Ньютона.

**Прилади й матеріали:** плоско-опукла лінза, мікроскоп; джерело світла; світлофільтри.

#### Теоретичні відомості

У основі визначення радіусу кривизни лінзи або довжини хвилі світла за допомогою кілець Ньютона лежить явище інтерференції. Суть явища інтерференції полягає у тому, що при деяких при накладенні світлових хвиль відбувається перерозподіл світлового потоку в просторі, внаслідок чого в одних точках простору виникають максимуми, а в інших - мінімуми інтенсивності. Необхідною умовою інтерференції світлових хвиль є їх когерентність: сталість у часі різниці фаз коливань вектора  $\vec{E}$  (і відповідно вектора  $\vec{H}$ ) в довільній точці зустрічі електромагнітних хвиль, що складаються.

Відомо, що два незалежні джерела світла не дають когерентних хвиль. Для здобуття останніх пучок (промінь) світла від одного джерела ділять яким-небудь чином на дві частини або безпосередньо виділяють два пучка (променя) від одного джерела, направляють їх різними дорогами, а потім зводять в одну область простору.

Практично це можна здійснити за допомогою екранів зі щілинами (дослід Юнга), дзеркал (дзеркало Ллойда, бізеркало Френеля), й заломлюючих тіл: призм, лінз, тонких плівок (біпризма Френеля, призма Бійє, кільця Ньютона).

У тонких плівках можна спостерігати *смуги рівного нахилу* (у плоско паралельних тонких пластиках – плівках) й *смуги рівної товщини* (на клині). *Кільця Ньютона* є окремим випадком інтерференції на клині, де роль клині

відіграє повітряний або заповнений рідиною зазор між плоско-опуклою лінзою та скляною пластиною.

Два когерентних променя світла отримують наступним чином. Плоскоопуклу лінзу кладуть опуклою стороною на скляну пластину (рис.1). На лінзу направляють нормально до плоскої поверхні пучок паралельних монохроматичних променів. Кожен промінь проходить лінзу й на верхній границі повітряного клину ділиться на два: один відбивається від верхньої границі клину, інший проходить клин і відбивається від його нижньої границі.

Із-за малої кривизни лінзи заломлення світла на її опуклій поверхні практично не відбувається, і два відбитих променя йдуть уздовж падаючого (рис. 1). Вони когерентні, оскільки отримані шляхом розділення одного падаючого променя.

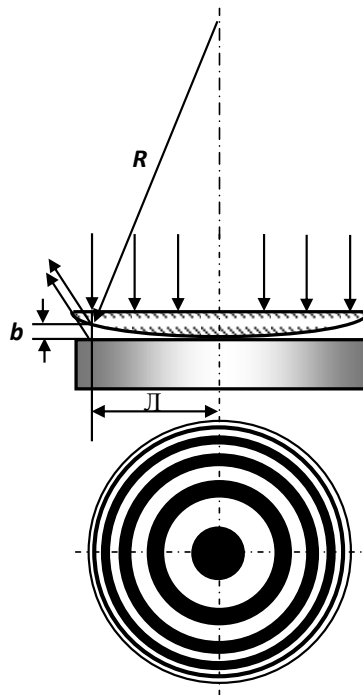


Рис. 1 Кільця Ньютона

Оптична різниця ходу двох відбитих променів буде однакою для всіх пар променів, що знаходяться на рівній відстані від точки дотику лінзи, тобто там, де однакова товщина шару  $b$ . Тому спостережувані інтерференційні смуги називаються смугами рівної товщини і мають вигляд темних і світлих кілець - *кілець Ньютона*.

Позначимо через  $r$  радіус кільця Ньютона, відповідний товщині повітряного шару  $b$  (рис.1). Між двома відбитими в цьому місці променями оптична різниця ходу :

$$\Delta = 2bn + \lambda/2, \quad (1)$$

де  $\lambda$  - довжина хвилі у вакуумі,  $n = 1$  - показник заломлення для повітря. Додавання  $\lambda/2$  обумовлено тим, що при відбиванні від оптично густішого середовища вектор  $\vec{E}$  змінює напрям на протилежний. Це еквівалентно стрибкоподібній зміні фази коливань  $\vec{E}$  на  $\pi$  або, інакше, проходженню відповідної складової електромагнітної хвилі відстані  $\lambda/2$ .

Оскільки світлова дія на око, фотопластину, фотоелемент обумовлено вектором, то за рахунок віддзеркалення другого променя від середовища з великим показником заломлення до його оптичної довжини дороги слід додати  $\lambda/2$ .

Знайдемо радіуси кілець Ньютона у відбитому світлі. З рис. 1 видно, що

$$R^2 = (R - b)^2 + r^2 = R^2 - 2Rb + b^2 + r^2, \quad (2)$$

де  $R$  - радіус кривизни лінзи.

З виразу (2) з урахуванням малості  $b^2$  отримаємо:

$$2b = \frac{r^2}{R}. \quad (3)$$

Підставляючи  $2b$  з виразу (3) в вираз (1), одержимо:

$$\Delta = \frac{r^2}{R} + \frac{\lambda}{2}. \quad (4)$$

Підставляючи в (4) умови мінімуму  $\Delta = (2k+1)\cdot\lambda/2$ , а потім умови максимуму  $\Delta = k\lambda$  де  $k = 1, 2, 3, \dots$  визначимо радіуси темних и світлих кілець у відбитому світлі:

$$r_t = \sqrt{k \lambda R}, \quad (5)$$

$$r_{cs} = \sqrt{\frac{(2k-1) \lambda R}{2}}, \quad (6)$$

де  $k$  - номер кільця.

Радіуси  $k$ -го и  $i$ -го темних кілець в відповідно з формулою (5)

$$r_k = \sqrt{k \lambda R}, \quad r_i = \sqrt{i \lambda R}. \quad (7)$$

## Методика експерименту

Установка (рис. 2) для спостереження й виміру інтерференційних кілець складається з вертикального вимірювального мікроскопа  $M$ , на предметному столику якого розташовані скляна пластинка  $\Pi$  і лінза  $L$ , джерела світла і світлофільтрів.

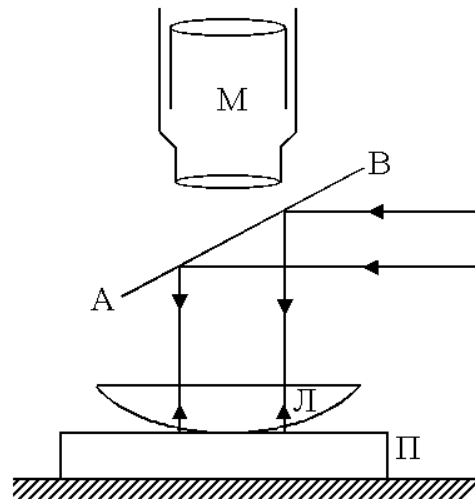


Рис. 2. Схема установки

Між об'єктивом мікроскопа  $M$  і лінзою  $L$  поміщена скляна пластинка  $AB$  під кутом  $45^\circ$  до поверхні лінзи. На пластинку  $AB$  падає під кутом  $45^\circ$  паралельний пучок світла, що пройшов через світлофільтр. Відбившись від пластинки  $AB$ , пучок світла падає на лінзу нормально.

Промені, відбиті від опуклої поверхні лінзи  $L$  і пластинки  $\Pi$ , проходять через пластинку  $AB$  і потрапляють в об'єктив мікроскопа. В результаті інтерференції цих променів спостерігач бачитиме світлі та темні кільця. Діаметри кілець вимірюються за шкалою, вмонтованою в окуляр.

Радіус лінзи при відомій довжині хвилі (або довжину хвилі при відомому радіусі лінзи) можна розрахувати по формулам (7), вимірюючи радіуси (діаметри) темних кілець в інтерференційній картині.

У окулярі мікроскопа в центрі поля зору є візирні нитки ( $BH$ ) (рис. 3). Діаметри кілець можна виміряти по шкалі, вмонтованої в окуляр, переміщуючи відносно них візирні нитки. Ціна поділки окулярної шкали  $\beta=0,1$  мм.

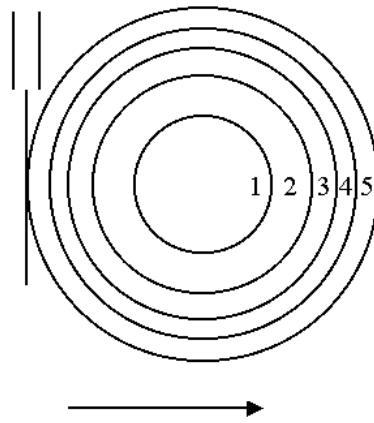


Рис. 3. До вимірювання діаметру кілець

Адже добитися ідеального дотику лінзи з плоско-паралельною пластинною й одержати темну точку (пляму) у центрі інтерференційної картини практично неможливо, тому в розрахунках використовують не діаметри, а їх різницю.

Зводячи вирази (7) у квадрат, і віднімаючи одне від другого, одержимо:

$$r_k^2 - r_i^2 = (k - i)\lambda R. \quad (8)$$

Або, підставляючи замість радіусів кілець їх діаметри  $d$  одержимо:

$$d_k^2 - d_i^2 = 4(k - i)\lambda R. \quad (9)$$

Формула (9) справедлива й для світлих кілець.

Як впливає з вищесказаного, діаметр кільця Ньютона можна безпосередньо виміряти в поділках окулярної шкали. Умножаючи цей результат на величину  $\beta$  у мм/под. одержимо діаметр у міліметрах.

Звідки отримуємо формули для обчислення радіусу лінзи:

$$R = \frac{(d_k^2 - d_i^2)\beta^2}{4(k - i)\lambda} \quad (10)$$

і довжини хвилі світла:

$$\lambda = \frac{(d_k^2 - d_i^2)\beta^2}{4(k - i)R}. \quad (11)$$

### Завдання до роботи

1. Установити червоний фільтр. Включить освітлювач.
2. Установити освітлювач і пластинку АВ на предметному столику мікроскопа так, щоб промені, які проходять через світлофільтр від джерела світла,

падали на пластинку під кутом  $45^{\circ}$ , а лінза освітлювалась променями, відбитими від пластинки  $AB$ .

3. Установити мікроскоп в такому положенні, щоб були чітко видні темні й світлі кільця. Злегка переміщаючи окуляр добитися чіткого зображення візерних ниток.
4. За допомогою мікрометричного гвинта мікроскопа навести візерну нитку на кінець діаметру крайнього темного кільця, наприклад, зліва (шостого або п'ятого), як це показано на рисунку 3, провести відлік  $x_1$  по шкалі мікроскопа.
5. Навести візерну нитку на кінець діаметра сусіднього темного кільця з меншим номером і знову зробити відлік  $x_2$ . Обертаючи мікрометричний гвинт в один бік (переміщення відповідає стрілці на рисунку 3), зробити відліки для кілець у наступному порядку:
 

відлік зліва 5-е, 4-е, 3-е, 2-е, 1-е;

відлік справа 1-е, 2-е, 3-е, 4-е, 5-е.
6. Обчислити діаметри кілець  $d = x_2 - x_1$ .
7. Вибрати номери кілець  $k$  і  $i$ , найбільш далекі один від одного для уникнення великих погрішностей і розрахувати для кожної пари радіус кривизни лінзи по формулі (10) де діаметр  $d$  виражений в поділках окулярної шкали.
8. Замінити червоний фільтр на зелений і в тому ж порядку зробити виміри кілець для зеленого світлофільтру.
9. По формулі (11), отриманому у вимірах з червоним світлофільтром, радіусу кривизни лінзи і діаметрам інтерференційних кілець, отриманим із зеленим фільтром, визначити довжину хвилі зеленого світла.
10. Результати вимірів і обчислень занести в табл. 1.

Таблиця 1

Фільтр	Номер кільця	відлік по шкалі		Діаметр кільця $d$	Радіус кривизни лінзи $R$ , м	Довжина хвилі світла $\lambda$ , м
		зліва $x_1$	справа $x_2$			
червоний	5					$6,56 \cdot 10^{-7}$
	4					
	3					
	2					
	1					
	Середн.					
зелений	5					
	4					
	3					
	2					
	1					
	Середн.					

### Техніка безпеки

1. Перед виконанням роботи необхідно перевірити, чи приєднано джерело живлення до освітлювача мікроскопа.
2. При переміщенні тубуса мікроскопа по вертикалі стежити за тим, щоб об'єктив не стосувався скляної пластини.
3. Не торкатися струмоведучих частин установки, включеного освітлювача.

### Контрольні запитання

1. Що таке інтерференція?
2. Які джерела і хвилі називаються когерентними?
3. Як отримати когерентні світлові хвилі?
4. Як утворюються інтерференційні кільця?
5. Вивести формулу для визначення радіусу кільця Ньютона.

### Література

1. Кучерук І. М. Загальний курс фізики. Т.3. Оптика. Квантова фізика / І. М. Кучерук, І. Т. Горбачук. – К.: Техніка, 1999. – 398 с.
2. Загальна фізика. Лабораторний практикум / Під ред. І. Т. Горбачука. – К.: Вища школа, 1992. – С.413-415.



## Лабораторна робота №10

### ПЕРЕВІРКА ЗАКОНУ МАЛЮСА

**Мета роботи:** вивчити явище поляризації світла і методи одержання поляризованих променів, перевірити закон Малюса на прикладі поляроїдів.

**Прилади й матеріали:** лазер, встановлений на оптичній лаві, два поляроїди, фотоприймач, гальванометр.

#### Теоретичні відомості

Дія світла на середовище переважним чином зумовлена вектором напруженості електричного поля електромагнітної хвилі, тому у оптиці цей вектор називають світловим. Якщо світловий вектор має переважний напрямок коливань, то світло називають поляризованим на відміну від неполяризованого, або природного світла, для якого будь-який напрямок коливань світлового вектора зустрічається з однаковою ймовірністю.

При поширенні світлового променя перпендикулярно до площини сторінки, основні випадки можливих орієнтацій світлового вектора схематично показано на рис. 1. На рис. 1,а показано природне світло, на рис. 1,б зображено еліптично-поляризоване світло (світловий вектор переважно коливається у вертикальній площині), а рис. 1,в відповідає лінійно-поляризованому світлу (світловий вектор коливається тільки у одній, жорстко зафіксованій у просторі площині),

Оптичний прилад, при проходженні через який неполяризоване світло стає поляризованим, називається поляризатором. Площина поляризатора – це площина, у якій коливається світловий вектор пучка на виході з поляризатора. Поляризатор також використовують для аналізу стану поляризації світла. У цьому випадку його називають аналізатором.

Якщо площини поляризатора і аналізатора утворюють кут  $\varphi$ , то при падінні на аналізатор світла інтенсивністю  $I_0$  з нього вийде світловий пучок інтенсивністю (закон Малюса):

$$I = I_{max} \cos^2 \varphi \quad (1)$$

Нехай у загальному випадку на аналізатор падає частково (еліптично) поляризоване світло. Тоді при обертанні аналізатор за законом *Малюса* інтенсивність світла на виході буде змінюватись від  $I_{max}$  (площина поляризації світла паралельна до площини аналізатора) до  $I_{min}$  (площина аналізатора перпендикулярна до площини поляризації світла). Стан поляризації світла характеризують ступенем поляризації:

$$k = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} \times 100\% \quad (2)$$

Для лінійно-поляризованого світла  $k=1$ , для природного світла  $k=0$ , а у випадку еліптично поляризованого світла  $0 < k < 1$ .

Найбільш поширеними є поляризатори, принцип дії яких базується на явищі оптичного дихроїзму. У анізотропних кристалах можуть поширюватись лише лінійно-поляризовані у взаємно-перпендикулярних площинах звичайний і незвичайний промені. У оптично-дихроїчних кристалах коефіцієнт поглинання одного з променів настільки великий, що цей промінь практично повністю поглинається на шляху порядку десяти мікрометрів і з кристала виходить фактично лінійно-поляризоване світло. Поляроїд – це два скла, між якими розташований тонкий шар орієнтованих у одному напрямі оптично-дихроїчних мікрокристалів.

Закон Малюса вивчають на установці, схему якої подано на рисунку 2.

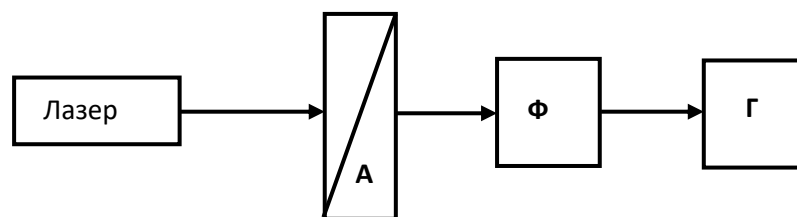


Рис. 2. Сема установки для перевірки закону Малюса

Джерело лінійно-поляризованого світла – лазер. Лазерний промінь проходить крізь аналізатор (поляроїд) А і потрапляє на фотоприймач Ф. Під дією світла у фотоприймачі генерується фото ЕРС, а тому з'єднаний з ним

гальванометр  $G$  буде фіксувати струм, пропорційний інтенсивності падаючого світла.

### Завдання до роботи

1. Згідно з інструкцією увімкнути лазер.
2. Встановити аналізатор у початкове положення ( $0^\circ$ ) і занести до табл. 1 відповідне значення сили струму  $I$ .
3. Повертаючи кожного разу аналізатор на кут  $15^\circ$ , визначати силу струму у діапазоні кутів  $0...360^\circ$ . Усі дані занести до табл. 1.
4. Вимкнути лазер.
5. За отриманими даними побудувати графік залежності  $I = f(\varphi)$ .
6. Користуючись графіком, визначити  $I_{max}$  і  $I_{min}$ .
7. Визначити ступінь поляризації за формулою (2).
8. Обчислити функцію  $I = I_{max} \cos^2 \varphi$  у діапазоні кутів  $0...360^\circ$  і нанести відповідні точки на експериментальний графік.
9. Зробити висновки.

Таблиця 5.3.1

$\alpha^\circ$	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
$I$ , мкА													

Продовження таблиці 5.3.1

$\alpha^\circ$	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	360
$I$ , мкА												

### Техніка безпеки

1. До роботи з установкою допускаються особи, ознайомлені з її пристроєм і принципом дії.
2. Забороняється прямо дивитися на пучок випромінювання лазера або його дзеркальне відображення.

3. Не слід наводити лазерний пучок у місця можливого перебування інших студентів або обслуговуючого персоналу.
4. Забороняється вносити до зони пучка блискучі предмети.

### **Контрольні запитання**

1. Дайте означення неполяризованого, плоскополяризованого, частково поляризованого та поляризованого по колу світла.
2. Назвіть способи отримання плоскополяризованого світла. Які поляризаційні пристрої зроблені на їх основі?
3. Що таке поляризатор та аналізатор?
4. Запишіть закон Малюса та поясніть його.
5. Яких вимог техніки безпеки треба дотримуватись при роботі з лазером?

### **Література**

1. Кучерук І. М. Загальний курс фізики. Т. 3. Оптика. Квантова фізика / І. М. Кучерук, І. Т. Горбачук. – К.: Техніка, 1999. – 398 с.
2. Загальна фізика. Лабораторний практикум / Під ред. І. Т. Горбачука. – К.: Вища школа, 1992. – С.413-415.

## 4. ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ З РОЗДІЛУ «ОПТИКА»

У світовій практиці ефективним, найпоширенішим та інноваційним методом контролю навчальних досягнень студентів вважають *тестування*.

*Тест* – це інструмент, що складається з вивіреної системи тестових завдань, стандартизованої процедури проведення тестування, заздалегідь спроектованої технології опрацювання і аналізу результатів, призначений для вимірювання якостей і властивостей особи, зміна яких можлива в процесі систематичного навчання.

Сучасна методика пропонує тест як інструмент визначення рівня знань, умінь, за допомогою якого можна не лише виявити якість навчання, але й одержати інформацію для прийняття рішень щодо вдосконалення цього процесу.

Перевагами тестового контролю є також можливість самоконтролю студентами власної навчально-пізнавальної діяльності; однакові правила оцінювання відповідей і наявність однакової інструкції для всіх тестованих.

Нижче приведені закриті тестові завдання, які можуть бути застосовані студентами для самоконтролю теоретичних знань при підготовки до виконання робіт фізичного практикуму .

### 4.1. Тестові завдання з однією правильною відповіддю

#### 1. Довжиною світлової хвилі називається:

- а) відстань, на яку поширюється хвиля за 1 секунду;
- б) відстань між максимумом і мінімумом напруженості поля в хвилі;
- в) відстань між двома найближчими точками, в яких коливання відбуваються в однакових фазах;
- г) максимальне відхилення від середнього значення напруженості електричного поля в хвилі.

**2. Довжина світлових хвиль, що сприймаються оком людини, знаходиться в інтервалі:**

- а)  $0,4 \div 0,7$  мкм; б)  $40 \div 70$  нм; в)  $400 \div 700$  Å; г)  $(4 \div 7) \cdot 10^{-10}$  м.

**3. При послідовному проходженні через різні середовища світло обирає траєкторію, при якій:**

- а) переміщення найменше;  
б) час на проходження мінімальний;  
в) шлях найкоротший;  
г) швидкість найбільша.

**4. Як залежить швидкість поширення світлової хвилі у вакуумі від її частоти?**

- а) не залежить;  
б) зростає зі збільшенням частоти електромагнітних коливань;  
в) швидкість поширення світла у вакуумі найбільша для червоних променів, а найменша – для фіолетових;  
г) швидкість світла у вакуумі має складну залежність від частоти.

**5. Швидкість світла при його переході з вакууму в речовину:**

- а) завжди зменшується;  
б) завжди збільшується;  
в) зменшується або збільшується залежно від речовини;  
г) не змінюється.

**6. При переході границі середовищ з різною оптичною густиною завжди змінюється:**

- а) колір світла;  
б) частота коливань у світової хвилі;  
в) напрям поширення світла;  
г) довжина світової хвилі.

**7. Абсолютний показник заломлення  $n$  показує:**

- а) у скільки разів швидкість світла у вакуумі менша швидкості світла в даному середовищі;
- б) у скільки разів швидкість світла у вакуумі більша швидкості світла в даному середовищі;
- в) яка швидкість світла у вакуумі;
- г) яка швидкість світла в даному середовищі.

**8. Відносний показник заломлення  $n_{2,1}$  показує:**

- а) швидкість світла в середовищі;
- б) у скільки разів швидкість світла у вакуумі більше швидкості світла в цьому середовищі;
- в) відношення швидкості світла в першому середовищі до його швидкості у середовищі, в яке світло переходить;
- г) відношення швидкості світла в середовищі, в яке світло переходить, до швидкості світла в першому середовищі.

**9. Показник заломлення речовини залежить від:**

- а) кута падіння світла на речовину;
- б) кольору падаючого світла;
- в) фази, з якою промінь досягає речовини;
- г) амплітуди світлової хвилі.

**10. Чи можуть бути меншими за одиницю абсолютний і відносний показники заломлення?**

- а) вказані показники заломлення можуть бути меншими за одиницю;
- б) вказані показники заломлення не можуть бути меншими за одиницю;
- в) меншим за одиницю може бути тільки абсолютний показник заломлення;
- г) меншим за одиницю може бути тільки відносний показник заломлення.

**11. Якщо при переході з середовища 1 у середовище 2 кут падіння світла на межу розділу більший, ніж кут заломлення, то:**

- а) швидкість світла в середовищі 2 більша, ніж у середовищі 1;
- б) довжина хвилі світла в середовищі 2 більша, ніж у середовищі 1;
- в) оптична густина середовища 2 більша, ніж середовища 1;
- г) частота світлової хвилі в середовищі 2 більша, ніж у середовищі 1.

**12. Як залежить зміщення світлового променя від початкового напрямку при проходженні через плоско паралельну пластину від її показника заломлення?**

- а) не залежить;
- б) збільшується зі збільшенням показника заломлення;
- в) зменшується зі збільшенням показника заломлення;
- г) збільшується або зменшується залежно від кута падіння.

**13. Закінчіть речення: «Граничним кутом повного відбивання називають...»**

- а) величину, яка визначається відношенням синуса кута падіння до синуса кута заломлення;
- б) кут падіння, при перевищенні якого не відбувається заломлення світла;
- в) кут падіння, при перевищенні якого не відбувається відбивання світла;
- г) кут заломлення, якщо він дорівнює  $90^\circ$ .

**14. Показники заломлення води, скла й алмазу відносно повітря дорівнюють: 1,33; 1,5; 2,42. У якій з цих речовин граничний кут повного відбивання має мінімальне значення?**

- а) у воді;
- б) у склі;
- в) в алмазі;
- г) в усіх речовинах кут повного відбивання однаковий.

**15. Дійсним називається зображення, яке:**

- а) може бути одержано тільки за допомогою збиральної лінзи;
- б) одержано за допомогою збиральної лінзи або увігнутого дзеркала;
- в) одержано на перетині заломлених або відбитих променів;
- г) одержано на перетині продовження заломлених або відбитих променів.

**16. Уявним називається зображення, яке:**

- а) може бути одержано тільки за допомогою розсіювальної лінзи;
- б) одержано за допомогою розсіювальної лінзи або опуклого дзеркала;
- в) одержано на перетині заломлених або відбитих променів;
- г) одержано на перетині продовження заломлених або відбитих променів.



**17. У опуклому сферичному дзеркалі може бути одержано:**

- а) тільки дійсне зображення;
- б) тільки уявне зображення;
- в) дійне або уявне зображення;
- г) тільки збільшене зображення.

**18. Де потрібно розмістити предмет, щоб його збільшення у сферичному увігнутому дзеркалі дорівнювало 1?**

- а) у фокусі;
- б) у центрі кривизни;
- в) на безмежно великій відстані;
- г) між фокусом і дзеркалом.

**19. Головним фокусом збиральної лінзи називається:**

- а) точка, в якій заломлюються промені;
- б) точка, в якій перетинаються промені, що падають на лінзу паралельно головній оптичній осі;
- в) точка, в якій перетинаються продовження променів, що падають на лінзу паралельно до головної оптичної осі;
- г) точка, в якій перетинаються промені, що падають на лінзу перпендикулярно до головної оптичної осі.

**20. Оптичною силою лінзи  $D$  називається:**

- а) величина фокусної відстані лінзи;
- б) величина, обернена фокусній відстані лінзи;
- в) збільшення лінзи;
- г) відношення висоти предмета до висоти зображення в лінзі.

**21. Збільшення лінзи  $k$  дорівнює:**

- а) величині фокусної відстані лінзи;
- б) величині, оберненої до фокусної відстані лінзи;
- в) відношенню висоти предмета до висоти його зображення;
- г) відношенню висоти зображення до висоти предмета.

**22. Фокальною площиною лінзи називають:**

- а) будь-яку площину, що проходить через головний фокус лінзи;
- б) площину, що проходить через головний фокус лінзи паралельно головної оптичної вісі;
- в) площину, що проходить через головний фокус лінзи перпендикулярно до головної оптичної вісі;
- г) площину, в якій одержано зображення плоского предмета в лінзі.

**23. Предмет розташований на відстані, рівної половині фокусної, від тонкої збиральної лінзи. Його зображення буде:**

- а) уявним збільшеним;
- б) уявним зменшеним;
- в) дійсним збільшеним;
- г) прямим збільшеним.

**24. Збиральна лінза дає дійсне зображення предмета тільки якщо він розташований:**

- а) між лінзою та її головним фокусом;
- б) за фокусом на відстані  $f < a < 2f$  від лінзи;
- в) на відстані  $a > f$  від лінзи;
- г) на відстані  $a > 2f$  від лінзи.

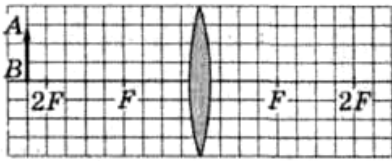
**25. Предмет перед збіркою лінзою переміщують від фокуса до лінзи. Як змінюватиметься розмір його зображення?**

- а) не змінюватиметься;
- б) збільшуватиметься;
- в) зменшуватиметься;
- г) спочатку збільшуватиметься, а потім зменшуватиметься.

**26. Яка найменша можлива відстань  $l$  між предметом і його дійсним зображенням, створюваним збиральною лінзою, з головною фокусною відстанню  $f = 12$  см?**

- а) 6 см;
- б) 12 см;
- в) 24 см;
- г) 48 см.

27. Повітряна лінза розташована в воді. Яким буде зображення в неї предмета АВ?



- а) уявним, збільшеним;
- б) перевернутим, зменшеним;
- в) дійсним, збільшеним;
- г) прямим, зменшеним.

28. Предмет переміщують від подвійної фокусної відстані до фокуса збірної лінзи. Як змінюватиметься розмір його зображення?

- а) залишиться постійним;
- б) збільшуватиметься;
- в) зменшуватиметься;
- г) спочатку збільшуватиметься, а потім зменшуватиметься.

29. Оптична сила  $D$  системи з двох близько розташованих збірних лінз визначається за формулою:

а)  $D = D_1 + D_2$ ;    б)  $D = D_1 - D_2$ ;    в)  $D = D_1 \cdot D_2$ ;    г)  $D = \frac{D_2}{D_1}$ .

30. Яка з формул відповідає збільшенню мікроскопа?

а)  $k = Ld \cdot D_1 D_2$ ;    б)  $k = \frac{\varphi'}{\varphi}$ ;    в)  $k = \frac{h'}{h}$ ;    г)  $k = \frac{L}{f}$ .

31. На якій відстані від лупи розташовують предмет?

- а) близької до фокусної, але меншій за неї;
- б) близької до фокусної, але більшій за неї;
- в) на відстані найкращого зору;
- г) на подвійній фокусній відстані.

32. На якій відстані від лупи одержують зображення предмету?

- а) близької до фокусної, але меншій за неї;
- б) близької до фокусної, але більшій за неї;
- в) на відстані найкращого зору;
- г) на подвійній фокусній відстані.

**33. Людське око найбільш чутливе:**

- а) до синьо-фіолетового кольору;
- б) до жовто-зеленого;
- в) до червоного;
- г) однаково для всіх кольорів.

**34. Однією з умов когерентності двох світлових хвиль є сталість у часі різниці:**

- а) амплітуд;
- б) фаз;
- в) частот;
- г) швидкостей поширення хвиль.

**35. Яка з формул визначає оптичну довжину шляху?**

- а)  $\Delta = L_2 - L_1$ ;
- б)  $S = v \cdot t$ ;
- в)  $S = \frac{A}{F}$ ;
- г)  $L = n \cdot S$ .

**36. Як називається фізична величина, яка визначається формулою**

$$\Delta = n_2 S_2 - n_1 S_1 ?$$

- а) оптична довжина шляху;
- б) різниця пройдених шляхів;
- в) різниця фаз;
- г) оптична різниця ходу.

**37. Інтерференційний мінімум спостерігається в тих точках простору, в яких:**

- а) оптична різниця ходу хвиль дорівнює цілому числу довжин хвиль;
- б) різниця пройдених шляхів дорівнює цілому числу довжин хвиль;
- в) оптична різниця ходу хвиль дорівнює непарному числу довжин півхвиль;
- г) оптична довжина шляху дорівнює непарному числу довжин півхвиль.

**38. При оптичній різниці ходу двох хвиль, рівній  $\lambda$ , в інтерференційній картині буде спостерігатися:**

- а) мінімум;
- б) максимум;
- в) проміжне значення;
- г) інтенсивність дорівнюватиме половині максимального значення.

**39. При оптичній різниці ходу двох хвиль, рівній  $\lambda/4$ , в інтерференційній картині буде спостерігатися:**

- а) мінімум;
- б) максимум;
- в) проміжне значення;
- г) інтенсивність дорівнюватиме половині максимального значення.

**40. При оптичній різниці ходу двох хвиль, рівній  $3\lambda/2$ , в інтерференційній картині буде спостерігатися:**

- а) мінімум;
- б) максимум;
- в) проміжне значення;
- г) інтенсивність дорівнюватиме  $3/2$  максимального значення.

**41. Інтерференційний максимум спостерігається в тих точках простору, в яких різниця фаз хвиль відповідає умові:**

а)  $\delta = 2m\pi$ ;   б)  $\delta = 3m\pi$ ;   в)  $\delta = \frac{(2m+1)}{2}\pi$ ;   г)  $\delta = (2m+1)\pi$ .

**42. У досліді Юнга для отримання когерентних джерел і спостереження інтерференції використовується явище:**

- а) відбивання світла;
- б) заломлення світла;
- в) дифракції світла;
- г) поляризації світла.

**43. Радіуси світлих кілець Ньютона (у відбитому світлі) визначаються виразом:**

а)  $(2k+1) \cdot \frac{\lambda_0}{2}$ ; б)  $\sqrt{\frac{(2k-1)R\lambda_0}{2}}$ ; в)  $\pm m\lambda_0$ ; г)  $\sqrt{kR\lambda_0}$ .

**44. Радіуси темних кілець Ньютона (у відбитому світлі) визначаються виразом:**

а)  $\sqrt{kR\lambda_0}$ ; б)  $\sqrt{\frac{(2k-1)R\lambda_0}{2}}$ ; в)  $\pm(2m+1) \cdot \frac{\lambda}{2}$ ; г)  $\pm m\lambda$ .

**45. Якщо пристрій для спостереження кілець Ньютона освітлювати білим світлом то найменшим буде радіус:**

- а) червоного кільця;
- б) зеленого кільця;
- в) фіолетового кільця;
- г) радіуси кілець всіх кольорів будуть однакові.

**46. Кільця Ньютона спостерігають спочатку у червоному світлі (760 нм), потім у фіолетовому (380 нм). Чи змінились при цьому радіуси кілець?**

- а) не змінились;
- б) радіуси збільшились в 1,4 рази;
- в) радіуси зменшились удвічі;
- г) радіуси зменшились в 1,4 рази.

**47. Дифракцією світла називається:**

- а) зміна напрямку світлових променів при переході з одного середовища в інше;
- б) огинання світлом перешкод;
- в) взаємне посилення чи послаблення двох світлових хвиль;
- г) розкладання сонячного світла в спектр.

**48. Якій фізичній величині відповідає означення  $\varphi$  у формулі  $d \sin \varphi = \pm m\lambda$  ?**

- а) куту падіння світлового променя на дифракційну решітку;
- б) куту дифракції;
- в) куту між площинами поляризації поляризатора й аналізатора;
- г) кутовому переміщенню.

**49. У формулі  $I = I_0 \cos^2 \varphi$  означення  $\varphi$  відповідає фізичній величині:**

- а) куту падіння світлового променя на дифракційну решітку;
- б) куту ковзання;
- в) куту дифракції;
- г) куту між площинами поляризації поляризатора й аналізатора.

**50. Закінчіть речення: «Період дифракційної ґратки...»**

- а) залежить від її геометричних розмірів;
- б) дорівнює величині, оберненій до фокусної відстані лінзи, що використовується для спостереження;
- в) визначається кількістю штрихів на один міліметр;
- г) залежить від довжини світлової хвилі.

**51. При проходженні дифракційної решітки у найбільшій мірі відхиляються:**

- а) фіолетові промені;
- б) зелені промені;
- в) червоні промені;
- г) всі промені у однаковій мірі.

**52. Яка з формул, відповідає умові максимуму при дифракції світла на дифракційній решітці?**

- а)  $D_\varphi = \frac{m}{d \cos \varphi}$  ;      б)  $\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta$  ;
- в)  $d \sin \varphi = \pm m\lambda$  ;      г)  $\Delta = (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}$  .

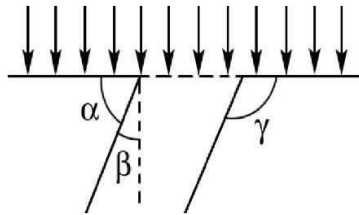
**53. Визначте кількість штрихів на 1 мм дифракційної ґратки, що її період 0,01 мм.**

- а) 10;                      б) 50;                      в) 100;                      г) 200.

**54. Визначте період дифракційної решітки, кількість, якщо вона має 200 штрихів на 1 мм.**

- а) 0,10 мм;      б) 0,01 мм;      в) 0,002 мм;      г) 0,005 мм.

55. Який з зазначених на рисунку кут є кутом дифракції?



- а)  $\alpha$ ;
- б)  $\beta$ ;
- в)  $\gamma$ ;
- г)  $2\beta$ .

56. Чим відрізняється дифракційний спектр від дисперсійного?

- а) не відрізняється;
- б) у дифракційного спектра більше кольорів;
- в) розташування кольорів у спектрах обернене;
- г) дисперсійний спектр ширший.

57. На межі поділу двох діелектриків може бути повністю поляризованим:

- а) відбитий промінь;
- б) заломлений промінь;
- в) і заломлений, і відбитий;
- г) поглинутий промінь.

58. На межі поділу двох діелектриків:

- а) відбитий промінь завжди повністю поляризований;
- б) заломлений промінь завжди повністю поляризований;
- в) заломлений і відбитий промінь поляризовані;
- г) заломлений і відбитий промінь завжди поляризовані частково.

59. Поляризоване світло пропускають через аналізатор. Чи змінюється при цьому його інтенсивність? ( $\varphi$  – кут між площинами поляризації поляризатора й аналізатора)

- а) не змінюється;
- б) змінюється пропорційно  $\cos^2 \varphi$ ;
- в) змінюється пропорційно  $\sin \varphi$ ;
- г) змінюється пропорційно  $\cos \varphi$ .



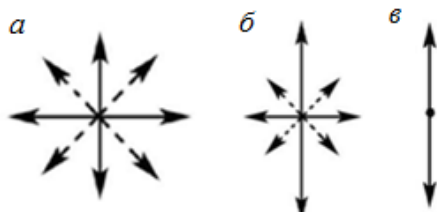
60. Кут між площинами поляризації відбитого і заломленого променів на межі діелектрика становить:

- а)  $0^0$ ;      б)  $90^0$ ;      в)  $180^0$ ;      г) може бути будь-яким.

61. Степінь поляризації  $P$  світла після проходження через ідеальний поляризатор:

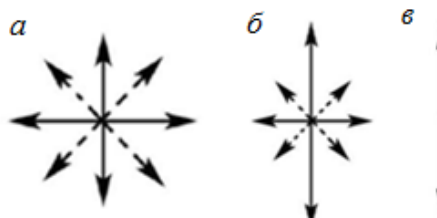
- а)  $P = 0$ ;      б)  $P = \infty$ ;      в)  $P = 1$ ;      г)  $P = 0,5$ .

62. Яка схема коливань вектора напруженості електричного поля відповідає неполяризованому світлу?



- а)  $a$ ;  
б)  $б$ ;  
в)  $в$ ;  
г)  $a$  і  $б$ .

63. Яка схема коливань вектора напруженості електричного поля відповідає поляризованому світлу?



- а)  $a$ ;  
б)  $б$ ;  
в)  $в$ ;  
г)  $б$  і  $в$ .

64. Яка з наведених формул відповідає закону Малю?

а)  $R = \pi \cdot B$ ;

б)  $I = I_0 \cos^2 \varphi$ ;

в)  $P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$ ;

г)  $\operatorname{tg} \Theta_B = \frac{n_2}{n_1}$ .

## 4.2. Тестові завдання з декількома правильними відповідями

**1. Якщо при переході з середовища 1 у середовище 2 кут падіння світла менший, ніж кут заломлення, то:**

- а) оптична густина середовища 2 більша, ніж середовища 1;
- б) оптична густина середовища 1 більша, ніж середовища 2;
- в) довжина хвилі світла в середовищі 2 більша, ніж у середовищі 1;
- г) частота світлової хвилі в середовищі 2 більша, ніж у середовищі 1.
- д) швидкість світла в середовищі 1 менша, ніж у середовищі 2.

**2. При переході світла в середовище з меншою оптичною густиною:**

- а) збільшується кут між напрямом поширення світлової хвилі й перпендикуляром до межі розділу середовищ;
- б) збільшується кут між напрямом поширення світлової хвилі й границею розділу середовищ;
- в) збільшується довжина хвилі;
- г) зменшується частота світлової ;
- д) зменшується швидкість світла.

**3. При переході границі середовищ з різною оптичною густиною завжди змінюється:**

- а) колір світла;
- б) частота коливань у світової хвилі;
- в) довжина світової хвилі;
- г) швидкість поширення світла;
- д) напрям поширення світла.

**4. Визначте, які з тверджень є правильними. Зображення у плоскому дзеркалі:**

- а) дійсне або уявне залежно від відстані до дзеркала;
- б) не залежить від відстані від дзеркала;
- в) уявне, зменшене;
- г) пряме, дійсне;
- д) пряме, уявне.

**5. У опуклому сферичному дзеркалі може бути одержано:**

- а) дійсне зображення;
- б) уявне зображення;
- в) зменшене зображення;
- г) збільшене зображення;
- д) пряме зображення.

**6. У увігнутому сферичному дзеркалі може бути одержано:**

- а) зменшене пряме зображення;
- б) уявне пряме зображення;
- в) уявне зменшене зображення;
- г) дійсне збільшене зображення;
- д) уявне збільшене зображення.

**7. Увігнуте сферичне дзеркало дає збільшене зображення предмета, якщо він розташований від полюсу дзеркала на відстані від дзеркала:**

- а)  $a < f$ ; б)  $a = f$ ; в)  $R > a > f$ ; г)  $a = R$ ; д)  $a > R$ .

**8. Дійсне зображення предмета в увігнутому сферичному дзеркалі може бути одержано, якщо предмет розташований від полюсу дзеркала на відстані:**

- а)  $a < f$ ; б)  $a = f$ ; в)  $a > f$ ; г)  $a = R$ ; д)  $a > R$ .

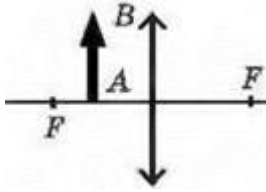
**9. Збиральна лінза дає обернене зображення предмета, якщо він розташований від оптичного центру лінзи на відстані:**

- а)  $a < f$ ; б)  $a = f$ ; в)  $a > f$ ; г)  $a = 2f$ ; д)  $a > 2f$ .

**10. Яке зображення не утворює розсіювальна лінза?**

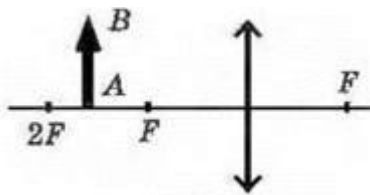
- а) пряме;
- б) обернене;
- в) зменшене;
- г) дійсне;
- д) уявне.

11. Які характеристики відповідають зображенню, що утворює лінза у наведеному випадку?



- а) уявне;
- б) дійсне;
- в) збільшене;
- г) зменшене;
- д) пряме.

12. Які характеристики відповідають зображенню, що утворює лінза у наведеному випадку?



- а) уявне;
- б) дійсне;
- в) збільшене;
- г) зменшене;
- д) пряме.

13. Визначте, у яких з наведених випадків при накладанні світлових хвиль буде спостерігатися максимум:

- а)  $\delta = 3m\pi$ ; б)  $\delta = (2m+1)\pi$ ; в)  $\delta = 2m\pi$ ; г)  $\Delta = 3\lambda$ ; д)  $\Delta = \frac{3}{2}\lambda$ ;

14. В інтерференційній картині буде спостерігатися мінімум, якщо:

- а)  $\delta = m\pi$ ; б)  $\delta = (2m+1)\pi$ ; в)  $\delta = 2m\pi$ ; г)  $\Delta = 3\lambda$ ; д)  $\Delta = \frac{3}{2}\lambda$ ;

15. В інтерференційній картині, яка спостерігається за допомогою біпризми Френеля:

- а) ширина світлих і темних смуг однакова ;
- б) ширина смуг збільшується при віддаленні від центру картини;
- в) ширина смуг зменшується при віддаленні від центру картини;
- г) при падінні білого світла у спектрі до центру ближче червоні смуги;
- д) при падінні білого світла у спектрі до центру ближче фіолетові смуги.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Атаманчук П. С. Методологічні особливості професійної підготовки майбутніх учителів фізики / П. С. Атаманчук, В. В. Мендерецький // Вісник Чернігівського державного педагогічного університету. – Серія: Педагогічні науки. – Чернігів : ЧОПУ, 2004. – Вип. 23. – №23. – С. 147-154.
2. Берещук М. Я. Тестовий контроль і рейтинг в освіті : [навчальний посібник] / М. Я. Берещук, Ю. П. Бархаєв, Г. В. Стадник. – Харків: ХНАМГ, 2006. – 106 с.
3. Богатирьов О. І. Тестовий експрес-контроль з оптики : [методичний посібник для викладачів фізичних спеціальностей вищих навчальних закладів освіти] / Богатирьов О. І. – Черкаси: Вид. від. ЧНУ імені Богдана Хмельницького, 2013. – 284 с.
4. Булах І. Є. Створюємо якісний тест : [навчальний посібник] / І. Є. Булах, М. Р. Мруга. – Київ : Майстер-клас, 2006. – 160 с.
5. Бушок Г. Ф. Методика преподавания общей физики в высшей школе / Г. Ф. Бушок, Е. Ф. Венгер. – Київ: Наукова думка, 2000. – 416 с.
6. Вакуленко І. В. Управління самостійною роботою студентів з використанням інформаційно-комунікаційних технологій / І. В. Вакуленко // Науковий часопис НПУ імені М. П. Драгоманова. Серія №2. Комп'ютерно-орієнтовані системи навчання: зб. наук. праць. – Київ: НПУ імені М. П. Драгоманова, 2016 – № 18 (25). – С. 50-64.
7. Василенко С. Л. Запровадження інноваційних моделей навчання фізики в педагогічних університетах / С. Л. Василенко // Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету ім. Івана Огієнка. Серія: Педагогічна, № 21. – Кам'янець-Подільський: К-ПНУ імені Івана Огієнка, 2015. - С. 16-17
8. Гаркуша І. П. Загальний курс фізики. Збірник задач / І. П. Гаркуша та [ін. ]. – Київ: Техніка, 2004. – 560 с.

9. Дуженков В. Д. Деякі аспекти методики складання тестових завдань / В. Д. Дуженков, Т. І. Панасюк // Організація навчально-виховного процесу. – 2006. – №8. – С. 104 -109.
10. Інноваційні педагогічні технології: теорія та практика використання у вищій школі : монографія / І. І. Доброскок, В. П. Коцур, С. О. Нікітчина [та ін.] ; Переяслав-Хмельниц. держ. пед. ун-т ім. Г. Сковороди, Ін-т пед. освіти і освіти дорослих АПН України. – Переяслав-Хмельниц. : Вид-во С. В. Карпук, 2008. – 284 с.
11. Кучерук І. М. Загальний курс фізики. Т.3. Оптика. Квантова фізика / І. М. Кучерук, І. Т. Горбачук. – К.: Техніка, 1999. – 398 с.
12. Кухар Л. О. Конструювання тестів. Курс лекцій : [навчальний посібник] / Л. О. Кухар, В. П. Сергієнко. – Луцьк, 2010. – 182 с.
13. Лекції з фізики. Коливання та хвилі. Оптика. Атомна фізика / Укладач: В. К. Манько. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2008. –154 с
14. Майоров А.Н. Теория и практика создания тестов для системы образования. – М. : Интеллект-центр, 2002. – 296 с.
15. Матвієнко В. М. Тестовий контроль, його можливості, місце в навчальній роботі та умови ефективного впровадження / В. М. Матвієнко, П. П. Тонкоглас // Організація навчально-виховного процесу. – 2005. – №5. – С. 101 -174.
16. Методичні вказівки до практичних занять з фізики. Розділ: Оптика, фізика атома / укл.: В. В. Чижов, М. І. Правда, В. П. Курбацький, В. Г. Корніч. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2004. – 64 с
12. Паращенко Л. І. Тестові технології у навчальному закладі: Метод. посібник / Л. І. Паращенко, В. Д. Леонський, Г. І. Леонська. – Київ : ТОВ «Майстерня книги», 2006. – 217 с.
13. Самылкина Н. Н. Современные средства оценивания результатов обучения / Н. Н. Самылкина. – М. : БИНОМ, Лаборатория знаний, 2007. – 172 с.
14. Сергієнко В. П. Методичні рекомендації зі складання тестових завдань / В. П. Сергієнко, Л. О. Кухар. – Київ : НПУ, 2011. – 41 с.

15. Стрельніков В. Ю. Сучасні технології навчання у вищій школі: модульний посібник для слухачів авторських курсів підвищення кваліфікації викладачів МПК ПУЕТ / В. Ю.Стрельніков, І. Г. Брітченко. – Полтава : ПУЕТ, 2013. – 309 с.
16. Чельшкова М. Б. Теория и практика конструирования педагогических тестов: учеб. пособие. – М.: Логос, 2002. – 432 с.
17. Шевченко О. С. Використання тестів під час проведення лабораторних та практичних робіт / О. С. Шевченко, Г. Б. Редько // Фізика в школах України. – 2007. – № 11–12 (87–88). – С.6–8.