

Міністерство освіти і науки України
Чернівецький національний університет
імені Юрія Федьковича

**Методичні рекомендації
до лабораторного практикуму та самостійної роботи
з дисциплін циклу «Оптика»**

Чернівці
Чернівецький національний університет
2022

УДК 535
О 62

*Рекомендовано Вченою Радою
Інституту фізико-технічних та комп'ютерних наук
Чернівецького національного університету
імені Юрія Федьковича
(Протокол No 1 від 26.01.2022)*

Укладачі:

Ангельський Олег В'ячеславович, доктор фіз.-мат. наук, проф.,
Фельде Христина Вікторівна, канд. фіз.-мат. наук, доц.,
Городинська Ніна Василівна, канд. фіз.-мат. наук, асист.,
Фесів Ігор Васильович, канд. фіз.-мат. наук, доц.,
Архелюк Олександр Дмитрович, канд. фіз.-мат. наук, доц.

**О 62 Ангельський О.В., Фельде Х.В., Городинська Н.В., Фесів І.В.,
Архелюк О.Д.** Оптика: метод. реком. до лабор. практикуму та
самотійної роботи. – Чернівці : Чернівецький нац. ун-т, 2021. –
120 с.

У методичній розробці наведено роботи лабораторного практикуму оптичного блоку підготовки студентів, задачі для самотійного розв'язування та тести для самоперевірки. Зміст робіт та завдань охоплює основні розділи оптичного блоку.

Для студентів технічних факультетів за спеціальністю 152 «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка», 172 «Телекомунікації та радіотехніка».

УДК 535
© Чернівецький національний
університет імені Юрія Федьковича, 2021

ЗМІСТ

Вступ	4
Розділ I Лабораторний практикум	5
Частина I «Геометрична оптика»	5
Вимоги до змісту звіту	6
Лабораторна робота № 4	7
Визначення основних параметрів тонких лінз та дзеркал.....	7
Лабораторна робота № 5	13
Вивчення і моделювання телескопічної системи.....	13
Лабораторна робота № 6	17
Вивчення характеристик мікроскопа	17
Лабораторна робота № 8	21
Розрахунок, моделювання та дослідження складних оптичних систем, вивчення впливу діючих діафрагм.....	21
Частина II «Хвильова оптика»	25
Лабораторна робота 11	26
Визначення довжини світлової хвилі за допомогою біпризми Френеля.....	26
Лабораторна робота №12	35
Контроль якості обробки поверхонь оптичних деталей за допомогою мікроінтерферометра лінника МП-4	35
Лабораторна робота № 13	46
Визначення радіуса кривизни лінзи та дослідження світлофільтрів методом спостереження кілець Ньютона	46
Лабораторна робота № 17	53
Дослідження характеристик дифракційної ґратки на гоніометрі.....	53
Лабораторна робота № 20	62
Вивчення поляризованого світла.....	62
Розділ II Задачі для самостійного виконання.....	68
Розділ III Тестові завдання	90
Перший рівень складності.....	91
Другий рівень складності	99
Третій рівень складності	108
Список літератури.....	119

Вступ

Дана методична розробка має на меті узагальнити та впорядкувати методичні рекомендації до виконання практичної частини занять з освітніх компонент циклу «Оптика». Зокрема, таких навчальних дисциплін, як «Геометрична оптика», «Вимірювання в геометричній оптиці» та «Хвильова оптика» для бакалаврів спеціальності 152 «Метрологія, інформаційно-вимірювальна техніка» та навчальної дисципліни «Фізичні основи оптичного зв'язку» бакалаврів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка».

Перший розділ містить детальні інструкції до виконання лабораторних робіт, вимоги до оформлення звіту та контрольні питання, що їх має підготувати студент під час проходження практикуму.

Другий розділ містить перелік задач різної складності із основних розділів оптичного циклу. Ці задачі виконуються студентами під час практичних занять із відповідних навчальних дисциплін, а також виносяться викладачем в якості самостійного завдання та контрольних робіт.

Третій розділ містить тестові питання трьох рівнів складності, що їх студенти проходять в якості самоперевірки. Приклади тестових завдань є одним з етапів підготовки здобувачів вищої освіти до складання комплексного державного іспиту.

Розділ І

Лабораторний практикум

Частина І
«Геометрична оптика»

Вимоги до змісту звіту

Звіт повинен містити:

1. назву і номер роботи,
2. мету роботи й завдання,
3. перелік обладнання,
4. короткий реферат з теоретичної частини,
5. схему установки або приладу, що використовується,
6. таблиці з результатами вимірювань,
7. обчислення й розрахунки шуканих величин,
8. графіки, виконані на папері або розраховані в комп'ютерній програмі на вибір,
9. розрахунок похибок шуканих величин.

Лабораторна робота № 4

Визначення основних параметрів тонких лінз та дзеркал

Мета роботи: вивчити методи визначення основних параметрів тонких лінз та дзеркал

Завдання:

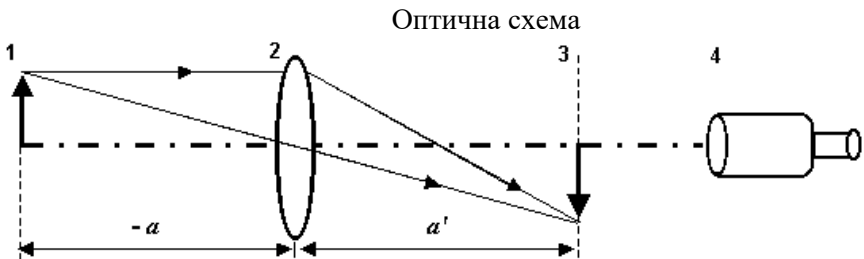
1. Коротко викласти основи теорії тонких лінз та дзеркал, привести необхідні співвідношення.
2. Описати та охарактеризувати основні методи визначення фокусних відстаней, привести необхідні схеми і розрахункові співвідношення (формули).
3. Визначити параметри даного комплекту лінз і дзеркал:
 - а) методом спряжених відстаней;
 - б) автоколімаційним методом.

Обладнання та матеріали: оптична лава, мікроскоп, зорова труба, збиральна лінза, розсіювальна лінза, увігнуте дзеркало, опукле дзеркало, плоске дзеркало.

Порядок виконання роботи

I. Метод спряжених відстаней

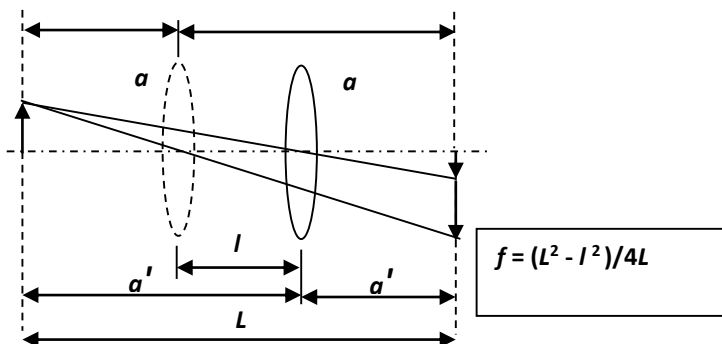
1. Визначення фокусної відстані збиральної лінзи по відстані предмета і його зображення.



$1/a - 1/a' = 1/f'$ або із врахуванням знаків $1/a' + 1/a = 1/f'$, де a - відстань предмета до лінзи, a' - відстань від лінзи до зображення, f' - фокусна відстань. 1 - предмет, 2 - збиральна лінза, 3 - предметна площина мікроскопа, 4 - мікроскоп.

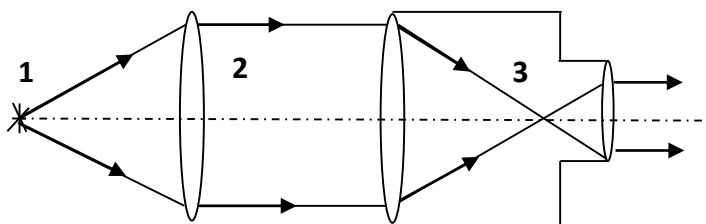
2. Визначення фокусної відстані збиральної лінзи за методом "зміщення".

Оптична схема



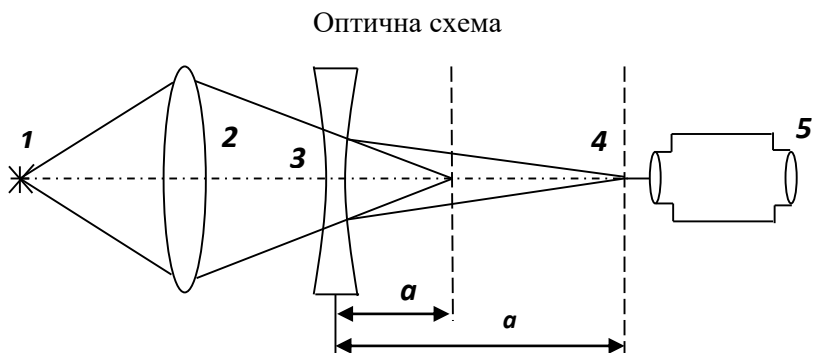
3. Визначення фокусної відстані збиральної лінзи за допомогою зорової труби.

Оптична схема



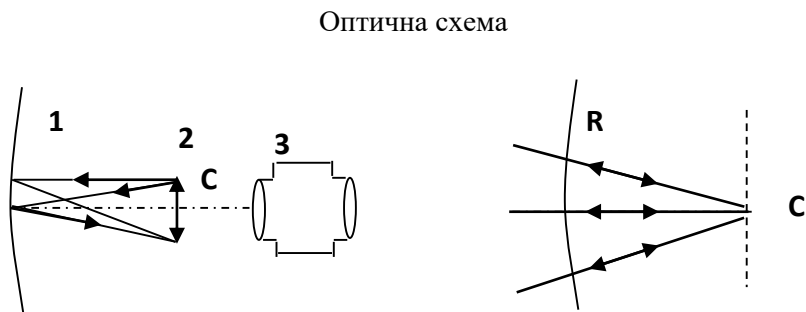
1 - предмет, 2 - збиральна лінза, 3 - зорова труба.

4. Визначення фокусної віддалі розсіювальної лінзи по відстані предмета і його зображення від лінзи.



1 - предмет, 2 - збиральна лінза, 3 - розсіювальна лінза, 4 - предметна площина, 5 - мікроскоп.

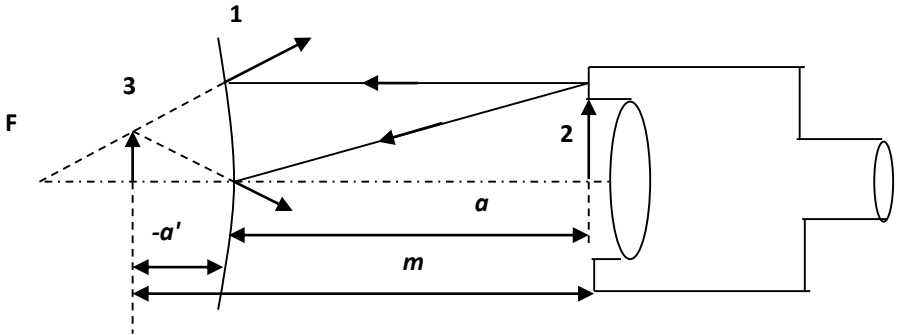
5. Визначення фокусної віддалі увігнутого дзеркала.



1 - увігнуте дзеркало, 2 - предмет, 3 - мікроскоп, C - центр сфери дзеркала.

6. Визначення фокусної віддалі опуклого дзеркала.

Оптична схема

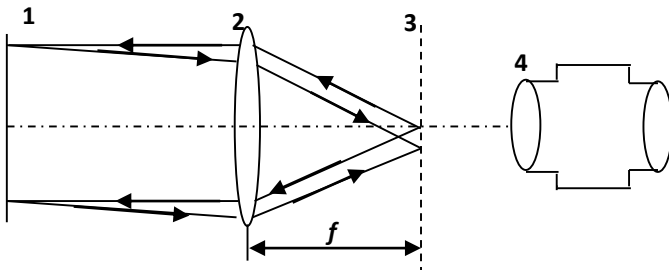


1 - опукле дзеркало, 2 - мікроскоп (площина предмету), 3 - зображення предмету (площина спостереження), f' - фокусна відстань дзеркала, a - відстань від дзеркала до предмету, a' - відстань від дзеркала до зображення, m - відстань від об'єктива мікроскопу до предметної площини. (Предметом для спостереження служить оправа об'єктиву мікроскопу).

II. Автоколімаційний метод

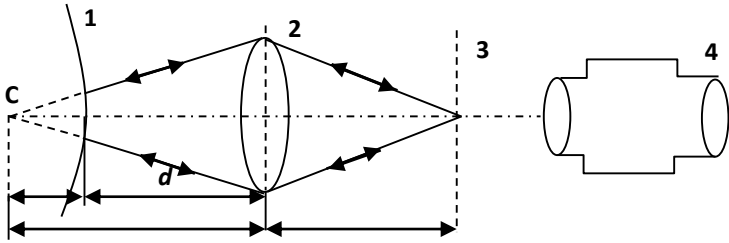
1. Визначення фокусної віддалі збиральної лінзи.

Оптична схема



1 - плоске дзеркало, 2 - збиральна лінза, 3 - площина спостереження, 4 - мікроскоп.

2. Визначення фокусної віддалі опуклого дзеркала.
Оптична схема



1 - опукле дзеркало, 2 - збиральна лінза, 3 - предметна площина мікроскопа, 4 - мікроскоп.

За допомогою нитки знайти предметну площину. Ця ж нитка служить предметом для спостереження. На подвійній фокусній віддалі від нитки розмістіть збиральну лінзу. Зображення нитки теж знаходиться на подвійній фокусній віддалі. Між зображеннями лінзи розмістіть опукле дзеркало і пересувайте його до тих пір, поки в мікроскопі поряд з ниткою не з'явиться її зображення. В цьому випадку центр поверхні дзеркала знаходиться в тому ж місці, де повинне бути зображення нитки.

$$R_3 = 2f_{\text{л}} - d; \quad f_3 = R_3 / 2$$

де R_3 - радіус кривизни дзеркала,
 $f_{\text{л}}$ - фокус лінзи,
 f_3 - фокус дзеркала,
 d - відстань між лінзою та опуклим дзеркалом.

Контрольні запитання

1. Запишіть формулу лінзи у відрізках.
2. Сформулюйте правило знаків.

3. Побудова ходу променів через оптичну систему.
4. Виведення виразу до п.5 ("метод зміщення").
5. Поясніть в чому суть автоколімаційного методу.
6. Оцініть похибки методів вимірювання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Фельде Х.В. , Городинська Н.В., Фесів І.В., Кривецький В.І. Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Геометрична оптика». Чернівці : Чернівецький національний. Університет імені Юрія Федьковича, 2021. – 155 с.
2. Романюк М.О. Оптика : підручник / М.О.Романюк, А.С.Крочук, І.П.Пашук; за ред. проф. М.О.Романюка. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка. 2012. – 564 с.
3. Бегунов Б.Н. Геометрическая оптика. - М.: Вид-во Моск. ун-та, 1966. - 208 с.
4. Бегунов Б.Н., Заказнов Н.П., Кирюшин С.И., Кузичев В.И. Теория оптических систем. - М.: Машиностроение, 1981. - 431 с.
5. Гвоздева Н.П., Коркина К.И. Теория оптических систем и оптические измерения. - М.: Машиностроение, 1981.-364 с.
6. Вчислительная оптика: Справочник / Під ред. Русинова М.М. - М.: 1984. - 424 с.
7. Ландсберг Г.С. Общий курс физики: оптика. Учебн. пособие: для вузов. – 6-е изд. стереот. - М: ФИЗМАЛИТ, 2003. – 848 с.
8. Мартин Л. Техническая оптика. - М.: Машиностроение, 1966. - 424 с.
9. Туригин И.А. Прикладная оптика. - М.: Машиностроение, 1966. - 432 с.
10. Афанасьев В.А. Оптические измерения. - М.: Вісш.шк., 1981. - 229 с.
11. Дубовик А.С. Прикладная оптика. - М.: Недра, 1982. - 612 с.
12. Шишловский А.А. Прикладная физическая оптика. - М.: Физматгиз, 1961. - 826 с.

Лабораторна робота № 5

Вивчення і моделювання телескопічної системи

Мета роботи: вивчити будову та методи визначення основних параметрів телескопічної системи.

Завдання

1. Коротко викласти основи теорії телескопічних систем.
2. Визначити кардинальні елементи і основні параметри даної системи:
 - a) розміщення і розміри зіниць польової діафрагми,
 - b) величину апертурного кута,
 - c) роздільну здатність та видиме збільшення.

Обладнання та матеріали: оптична лава, зорова труба, лінійка, нівелірна рейка.

Порядок виконання роботи

Визначення діаметрів вхідних та вихідних зіниць оптичних систем

Вхідною зіницею зорової труби у більшості випадків є оправа об'єктиву; вихідною зіницею - її зображення, побудоване окуляром. Діаметр вхідної та вихідної зіниці визначають наступним чином.

Діаметр зіниці входу вимірюють безпосередньо лінійкою. Діаметр вихідної зіниці визначають так: в мікроскопі, розміщеному перед окуляром труби, налаштованої на віддалений предмет, видно світлий кружок. Переміщуємо тубус мікроскопу в напрямку оптичної вісі до положення, при якому світлий кружок приймає мінімальні розміри з найбільш чіткими обрисами його країв. Вимірюємо діаметр світлого кружка, який є вихідною зіницею.

Відношення величини зіниці входу до величини зіниці виходу дає збільшення зорової труби.

$$\beta = D_{з.вх.} / D_{з.вих.}$$

Визначення збільшення зорової труби

Крім лінійного, поздовжнього та кутового збільшення зорова труба має так зване видиме збільшення Γ , яке визначається відношенням тангенсів кутів зору, під якими розглядається зображення предмета, або сам предмет відповідно через трубу та неозброєним оком.

Внаслідок великого віддалення предмета і зображення від труби видиме збільшення стає рівним кутовому збільшенню і визначається співвідношенням

$$\Gamma = \gamma - \operatorname{tg} \omega' / \operatorname{tg} \omega ,$$

де ω' - кут, під яким видно предмет при спостереженні через зорову трубу;

ω - кут, під яким видно предмет при спостереженні неозброєним оком.

З достатньою точністю для практики кутове збільшення зорової труби можна визначити за допомогою нівелірної лінійки, розділеної на сантиметри і поставленої від об'єктиву зорової труби на відстані не ближче тридцятикратної фокусної відстані. Сфокусувавши окуляр на ясне бачення сітки ниток труби і поділок рейки, розглядають одним оком зображення рейки через трубу, а другим - безпосередньо рейку. Помічають, скільки поділок, видимих неозброєним оком, вкладається в одній чи декількох поділках, що видно в трубу. Відношення першого числа до другого складає кутове чи видиме збільшення труби.

Визначення поля зору зорової труби

Частина простору, зображення якого розглядається через трубу, називається полем зору зорової труби. Поле зору знаходять за формулою

$$2 \operatorname{tg} \omega = y / L$$

Для цього на деякій відстані L від об'єктива труби встановлюють нівелірну рейку і, розглядаючи через окуляр

труби, відраховують число поділок m , що вкладаються по діаметру поля зору. Добуток m на t - ціну поділки рейки, виражену в сантиметрах, складає величину предмета, який розглядається, y . Відношення y до L , згідно з формулою, визначає поле зору.

Визначення роздільної здатності зорової труби

Роздільна здатність або межа розділення оптичної системи - властивість системи роздільно відображати дуже дрібні і дуже близько розміщені деталі предмета.

Роздільна здатність системи визначається найменшою відстанню між двома точками або лініями, які видно роздільно через дану систему, і оцінюються для об'єктиву телескопічної системи в кутовій мірі.

Роздільну здатність зорової труби визначають за формулою

$$\varphi'' = 120'' / D,$$

де D - діаметр вхідної зіниці,

$120''$ - зменшена вдвічі роздільна здатність ока.

Визначення апертурного кута зорової труби

Необхідно знати, що апертурним кутом називається кут, під яким з площини предмета видно апертурну діафрагму (в даному випадку - оправу об'єктива).

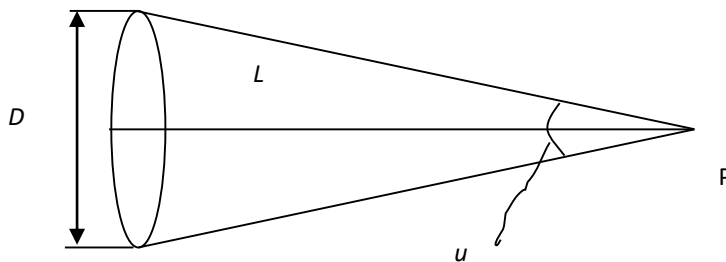


Рис.1. P - предмет, L - відстань від предмета до об'єктива зорової труби, u - апертурний кут, D - діаметр апертурної діафрагми.

З рисунка видно, що

$$\operatorname{tg} u = D / L$$

так як u мале, то $u = D / L$ (радіан). Остаточний результат треба виразити в градусах.

Контрольні запитання

1. Які типи телескопічних пристроїв Вам відомі. Наведіть приклади їх застосування.
2. Запишіть залежність роздільної здатності труби від величини вхідної зіниці.
3. Яка роль збирачої лінзи окуляра?
4. Визначення видимого збільшення по параметрам об'єктива і окуляра.
5. Будова автоколімаційної труби.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бегунов Б.Н. Геометрическая оптика. - М.: Вид-во Моск. ун-та, 1966. - 208 с.
2. Романюк М.О. Оптика : підручник / М.О.Романюк, А.С.Крочук, І.П.Пашук; за ред. проф. М.О.Романюка. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка. 2012. – 564 с.
3. Бегунов Б.Н., Заказнов Н.П., Кирюшин С.И., Кузичев В.И. Теория оптических систем. - М.: Машиностроение, 1981. – 431 с.
4. Гвоздева Н.П., Коркина К.И. Теория оптических систем и оптические измерения. - М.: Машиностроение, 1981. - 364 с.
5. Вчислительная техника: Справочник / Під ред. Русина М.М. - М.: 1984. - 424 с.
6. Ландсберг Г.С. Общий курс физики: оптика. Учебн. пособие: для вузов. – 6-е изд. стереот. - М: ФИЗМАЛИТ, 2003. – 848 с.
7. Мартин Л. Техническая оптика. - М.: Машиностроение, 1966. - 424 с.
8. Туригин И.А. Прикладная оптика. - М.: Машиностроение, 1966. - 432 с.

Лабораторна робота № 6

Вивчення характеристик мікроскопа

Мета роботи: вивчення будови та характеристик мікроскопа.

Завдання:

1. Вивчити будову мікроскопа.
2. Визначити основні характеристики мікроскопа: збільшення, поле зору, числову апертуру, роздільну здатність.

Обладнання й матеріали: мікроскоп, рисувальний пристрій, об'єкт-мікрометр, лінійка.

Визначення збільшення мікроскопа.

Студенти повинні знати, що збільшення мікроскопа, так само як і

збільшення лупи, можна виразити відношенням лінійних розмірів зображення предметів, отриманих на сітківці ока при допомозі мікроскопа та без мікроскопа. Так як це відношення залежить від відстані предмета від ока і від встановлення окуляра в мікроскопі, то домовились розглядати предмет без мікроскопа на відстані найкращого зору, яка дорівнює 250 мм, а через мікроскоп – при встановленні окуляра на зображення, що знаходиться від заднього фокуса об'єктива на відстані, яка дорівнює оптичній довжині тубуса. Лінійне збільшення об'єктива мікроскопа визначається формулою

$$\beta_{об} = -\frac{\Delta}{f'_{об}},$$

де Δ - відстань між заднім фокусом об'єктива і площиною зображення,

$f'_{об}$ - задня фокусна відстань об'єктива.

Дійсне і перевернуте зображення збільшується окуляром в $\bar{\Gamma}_{ок}$ раз.

Звідси видиме збільшення мікроскопа одержується

$$\bar{\Gamma} = \beta_{об} \cdot \bar{\Gamma}_{ок} = -\frac{\Delta \cdot 250}{f'_{об} \cdot f'_{ок}}.$$

Тут $f'_{об}$ і $f'_{ок}$ - задня фокусна відстань об'єктива і окуляра,

$\Gamma_{\text{ок}}$ – збільшення окуляра, знайдене при умові, що предмет розміщений на відстані 250 мм.

Знак мінус показує, що зображення перевернуте.

Збільшення мікроскопа можна визначити за допомогою рисувального пристрою РА-1. Визначення збільшення мікроскопа за допомогою рисувального пристрою зводиться до суміщення видимого зображення предмету (шкали об'єкт-мікрометра) з вістрям олівця на листку білого паперу, який потрібно розмістити на столі під дзеркалом з правої сторони штативу мікроскопа. Якщо відома величина предмету (ціна поділки шкали об'єкт-мікрометри – 0,1 мм) і розмір отриманого на листку паперу зображення, то збільшення мікроскопа можна визначити з виразу

$$\Gamma = \frac{y' \cdot 250}{y \cdot D},$$

де y - розмір предмету,

y' - розмір зображення,

D - відстань від ока спостерігача до зображення на листку паперу.

Визначення поля зору мікроскопа.

Поле зору мікроскопа визначається в лінійній і рідше – в кутовій мірі. Поле зору мікроскопа студенти можуть визначити наступним чином. На предметний столик кладуть об'єкт-мікрометр з ціною поділки шкали 0,1 мм, встановлюють мікроскоп на різке бачення штрихів шкали і рахують кількість поділок m , що вкладаються по діаметру видимого поля зору. Підставляють значення m у формулу

$$L = m \cdot \tau,$$

де τ - ціна поділки шкали в міліметрах, і знаходять поле зору мікроскопа.

Кут поля зору визначається співвідношенням

$$2 \operatorname{tg} \omega = \frac{y'}{D}.$$

Визначення числової апертури мікроскопа.

Числова апертура – основний критерій роздільної сили і освітленості зображення мікроскопа. Вона дорівнює добутку показника заломлення середовища на синус половини апертурного кута $2U$, тобто

$$A = n \cdot \sin U.$$

Для об'єктива мікроскопа, який знаходиться в повітрі, $n=1$, тому

$$A = \sin U.$$

Чим більша числова апертура, тим більша роздільна сила мікроскопа.

Для визначення числової апертури мікроскопа використовують апертметр Аббе, яким студенти повинні вміти правильно користуватися. При вимірюванні числової апертури апертметр ставлять на предметний столик мікроскопа, і, спостерігаючи в окуляр, встановлюють нульову риску шкали апертметра центрично по відношенню об'єктива мікроскопа. Фокусують мікроскоп так, щоб чітко було видно зовнішню плоску поверхню апертметра. Потім виймають окуляр із тубуса і ведуть спостереження через об'єктив мікроскопа. Відлік необхідно проводити по шкалі, яку видно в об'єктив, вправо і вліво від центральної лінії.

Числову апертуру знаходять тільки для об'єктива зі збільшенням $5,5^x$.

Визначення роздільної сили оптичної системи.

Роздільна сила системи визначається найменшою відстанню між двома точками чи лініями, які видно роздільно через дану систему, і оцінюється для мікроскопа в лінійній мірі. Гранична роздільна здатність залежить від дифракційних явищ і рівна

$$d = \frac{0,61 \cdot \lambda}{A},$$

де λ - довжина хвилі світла ($\lambda = 0,555$ мкм),

A – числова апертура.

Контрольні запитання

1. Виведіть співвідношення для збільшення мікроскопа, нарисуйте оптичну схему мікроскопа.
2. Покажіть місце розташування діафрагм та зіниць.

3. Що таке поле зору мікроскопа? Яка залежність поля зору від збільшення?
4. Що таке роздільна здатність мікроскопа? Які фактори впливають на граничну роздільну здатність?

ЛІТЕРАТУРА

1. Бегунов Б.Н. Геометрическая оптика. - М.: Вид-во Моск. ун-та, 1966. - 208 с.
2. Бегунов Б.Н., Заказнов Н.П., Кирюшин С.И., Кузичев В.И. Теория оптических систем. - М.: Машиностроение, 1981. - 431 с.
3. Гвоздева Н.П., Коркина К.И. Теория оптических систем и оптические измерения. - М.: Машиностроение, 1981. - 364 с.
4. Вчислительная техника: Справочник / Під ред. Русина М.М. - М.: 1984. - 424 с.
5. Ландсберг Г.С. Общий курс физики: оптика. Учебн. пособие: для вузов. – 6-е изд. стереот. - М: ФИЗМАЛИТ, 2003. – 848 с.
6. Панов В.А., Андреев Л.Н. Оптика микроскопов. - М.: Машиностроение, 1976. - 432 с.

Лабораторна робота № 8

Розрахунок, моделювання та дослідження складних оптичних систем, вивчення впливу діючих діафрагм

Мета роботи: оволодіти методикою розрахунку та моделювання складних оптичних систем, ознайомитись з дією діафрагм в оптичній системі.

Завдання:

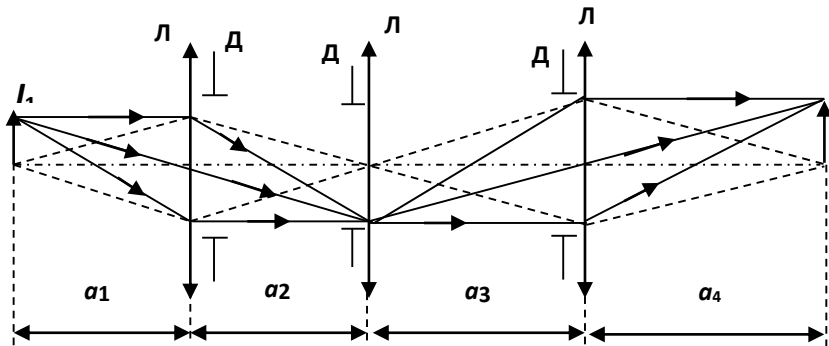
1. Вивчити і коротко викласти теорію центрованої оптичної системи та дії обмежень світлових променів в оптичних системах.
2. Визначити фокусні відстані даних трьох лінз і розрахувати узгоджену оптичну проєкційну систему із заданим збільшенням з трьох лінз та ірисових діафрагм. (Складається та розв'язується система чотирьох рівнянь з чотирма невідомими).
3. Змонтувати розраховану систему на оптичній лаві, від'юстувати, отримати на матовому екрані чітке зображення предметної сітки із заданим збільшенням, перевірити правильність аналітичного розрахунку.
4. Дослідити вплив кожної з трьох ірисових діафрагм, описати результати спостережень, визначити роль кожної діафрагми (польова, апертурна).

Обладнання та матеріали: мікроскоп, три збиральні лінзи, три ірисові діафрагми, оптична лава, предметна сітка, джерело світла, матовий екран, вимірювальна лінійка.

Порядок виконання роботи

I. Розрахунок узгодженої оптичної системи із заданим збільшенням.

Оптична схема узгодженої центрованої системи, що складається з трьох збиральних лінз, зображена на малюнку:



Параметри системи в цілому та окремих складових описуються наступною системою рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{f_1} = \frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} \\ \frac{1}{f_2} = \frac{1}{a_2} + \frac{1}{a_3} \\ \frac{1}{f_3} = \frac{1}{a_3} + \frac{1}{a_4} \\ K = \frac{a_2 a_4}{a_3 a_1} \end{array} \right.$$

де K - збільшення системи, яке задає лаборант або викладач.

Розв'язавши систему, знаходять a_1 , a_2 , a_3 та a_4 і збирають оптичну систему. Експериментально визначають коефіцієнт збільшення системи за формулою

$$K = l_0 / l,$$

де l_0 та l - розмір зображення і об'єкта відповідно.

II. Дослідження впливу діючих діафрагм

Студентам необхідно розрахувати оптичну систему (див. мал.) для заданого відношення діафрагм d_1 / d_3 , користуючись наступною системою рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{1}{f_1} = \frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} \\ \frac{1}{f_2} = \frac{1}{a_2} + \frac{1}{a_3} \\ \frac{1}{f_3} = \frac{1}{a_3} + \frac{1}{a_4} \\ \frac{d_1}{d_3} = \frac{a_2}{a_3} \end{cases}$$

Розрахувати коефіцієнт збільшення K системи :

$$K = a_2 a_4 / a_1 a_3$$

Скласти оптичну систему і визначити практичний коефіцієнт збільшення $K = l_0 / l$

Змінюючи по черзі розміри діафрагм D_1, D_2, D_3 , спостерігають за зміною зображення, яке формує оптична система.

Результати спостережень записати.

Контрольні запитання

1. Які системи є центрованими? Що таке узгоджена оптична система?
2. Що називається діафрагмою поля зору, входною та вихідною зіницею оптичної системи?
3. Яку роль в оптичній системі відіграє польова лінза (колектив)?
4. Що таке він'єтуюча діафрагма?

5. Що таке глибина поля зору та глибина простору зображення?

ЛІТЕРАТУРА

1. Бегунов Б.Н. Геометрическая оптика. - М.: Вид-во Моск. ун-та, 1966. - 208 с.
2. Бегунов Б.Н., Заказнов Н.П., Кирюшин С.И., Кузичев В.И. Теория оптических систем. - М.: Машиностроение, 1981. - 431 с.
3. Фельде Х.В. , Городинська Н.В., Фесів І.В., Кривецький В.І. Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Геометрична оптика». Чернівці : Чернівецький національний. Університет імені Юрія Федьковича, 2021. – 155 с.
4. Романюк М.О. Оптика : підручник / М.О.Романюк, А.С.Крочук, І.П.Пашук; за ред. проф. М.О.Романюка. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка. 2012. – 564 с.
5. Гвоздева Н.П., Коркина К.И. Теория оптических систем и оптические измерения. - М.: Машиностроение, 1981. - 364 с.
6. Вчислительная оптика: Справочник /Під ред. Русинова М.М.- М.: 1984. - 424 с
7. Ландсберг Г.С. Общий курс физики: оптика. Учебн. пособие: для вузов. – 6-е изд. стереот. - М: ФИЗМАЛИТ, 2003. – 848 с.

Частина II
«Хвильова оптика»

Лабораторна робота 11

Визначення довжини світлової хвилі за допомогою біпризми Френеля

Мета роботи: вивчення методик отримання інтерференційної картини та визначення довжини світлової хвилі за допомогою біпризми Френеля.

Завдання:

1. Викласти теорію отримання інтерференційної картини за допомогою біпризми Френеля та описати методику визначення довжини світлової хвилі, накреслити оптичну схему експерименту.
2. Визначити похибки методу та похибки вимірювань.
3. Від'юстувати установку та визначити довжини хвиль світла, що пропускається даними світлофільтрами, методом безпосередніх вимірювань.
4. Прокалібрувати установку за спостереженням інтерференційної картини для світлофільтра з відомою довжиною хвилі.
5. Визначити довжини хвиль світла, що пропускається світлофільтрами, методом порівняння.
6. Співставити та порівняти результати вимірювань довжин хвиль двома методами, визначити похибки.
7. Оцінити ширину спектральної смуги пропускання для кожного світлофільтра.

Обладнання й матеріали: мікроскоп, біпризма Френеля, щілина, джерело світла, лінза, світлофільтри, об'єкт-мікрометр.

Теоретична частина

У випадку накладання когерентних хвиль (хвиль з однаковою частотою, ідентично поляризованих, з постійною різницею фаз за час достатній для спостереження) утворюється стійка інтерференційна картина (картина у вигляді максимумів і мінімумів коливальних, що чергуються). Ця картина показує, що енергія хвиль при цьому перерозподіляється: утворюються місця,

де інтенсивність більша, ніж просто сума інтенсивності двох хвиль (максимуми), але існують і місця, де інтенсивність менша за суму інтенсивності двох хвиль (мінімуми).

У випадку некогерентних хвиль, інтенсивності просто додаються, і мінімуми і максимуми не утворюються.

Максимуми інтерференційної картини отримуються в тих місцях, де різниця ходу дорівнює цілому числу довжин хвиль, або, що те ж саме, парному числу півхвиль, а мінімуми – в тих місцях де різниця ходу дорівнює непарному числу півхвиль.

При накладанні двох гармонічних коливань одного періоду

$$S_1 = a_1 \sin(\omega t + \varphi_1)$$

і

$$S_2 = a_2 \sin(\omega t + \varphi_2),$$

що проходять в одному напрямку, отримується знову гармонічне коливання того ж періоду

$$S = S_1 + S_2 = A \sin(\omega t + \theta),$$

амплітуда A і фаза θ якого визначаються з наступного співвідношення:

$$A^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1 a_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2),$$

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{a_1 \sin \varphi_1 + a_2 \sin \varphi_2}{a_1 \cos \varphi_1 + a_2 \cos \varphi_2}.$$

Квадрат амплітуди результуючого коливання не дорівнює сумі квадратів амплітуд коливань, які накладаються, тобто енергія результуючого коливання не дорівнює сумі енергій коливань, що накладаються. Результат залежить від різниці фаз $\varphi_1 - \varphi_2$.

При накладанні двох коливань з однаковим періодом потрібно розрізнити два випадки:

1. Різниця фаз коливань зберігається незмінною за час τ достатній для спостереження. Середня енергія результуючого коливання відрізняється від суми середніх енергій початкових коливань і може бути більшою або меншою за неї в залежності від різниці фаз. У цьому випадку коливання називаються когерентними. Накладання коливань, при якому не відбувається

сумування інтенсивності, а відбуваються перерозподіл їх, називають інтерференцією коливань.

$$\bar{A}^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2 \cos\psi, \text{ тобто } I \neq I_1 + I_2.$$

2. Різниця фаз коливань хаотично змінюється за час спостереження. Середня енергія результуючого коливання дорівнює сумі середніх енергій початкових коливань. Коливання у цьому випадку є некогерентними. При їх накладанні завжди спостерігається сумування інтенсивності, тобто інтерференції у цьому випадку немає.

$$\bar{A}^2 = a_1^2 + a_2^2, \text{ тобто } I = I_1 + I_2.$$

Монохроматичні хвилі (період, амплітуда і початкова фаза не залежить від часу), тобто хвилі що утворені гармонічними коливаннями, когерентні і можуть інтерферувати (якщо мають однаковий період).

Результат накладання залежить від різниці фаз Ψ , яка утворюється через неоднаковість відстаней d_1 і d_2 , що пройшли хвилі, або (що за змістом те саме) від різниці ходу.

Різниця ходу виражена через довжину хвилі визначається співвідношенням:

$$A = d_2 - d_1 = m\lambda,$$

де m – довільне число.

Різниця фаз Ψ , яка виникає внаслідок різниці ходу хвиль, дорівнює:

$$\Psi = 2\pi(d_2 - d_1)/\lambda = 2\pi m$$

Якщо початкові фази однакові, то результуюча інтенсивність для двох інтерферуючих хвиль з однаковими амплітудами запишеться:

$$I \approx A^2 = 4a^2 \cos^2(\pi(d_2 - d_1)/\lambda) = 4a^2 \cos^2 m\lambda$$

Цілим значенням m відповідає відмінність по фазі на $2\pi m$ і інтенсивність пропорційна $4a^2$ (максимуми). При m - напівцілому - фази коливань, що накладаються, протилежні і інтенсивність дорівнює нулю (мінімуми).

А у випадку, коли амплітуди неоднакові:

$$I \approx A^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2 \cos 2\pi m = (a_1 - a_2)^2 + 4a_1a_2 \cos^2 \pi m$$

При m - цілому маємо максимуми і $A^2 = (a_1 + a_2)^2$, m - напівцілому - мінімуми і $A^2 = (a_1 - a_2)^2$

Якщо початкові фази хвиль, що накладаються, неоднакові, то ми будемо мати таку ж картину, але темні і світлі смуги будуть займати проміжне положення, що залежить від різниці фаз.

У випадку некогерентних хвиль кожному значенню різниці фаз буде відповідати своя інтерференційна картина, яка зі зміною часу буде змінюватись іншою. Якщо ця зміна буде відбуватись дуже швидко, то ми не в змозі спостерігати ці миттєві інтерференційні картини і сприйматимемо деяке середнє значення, яке відповідає однорідному розподілу інтенсивності.

З розглянутих прикладів накладання хвиль з рівними і нерівними амплітудами видно, що співвідношення між амплітудами суттєво впливає на якість інтерференційної картини. Якщо амплітуди однакові, то максимуми освітленості в інтерференційній картині чергуються з областями, де освітленість падає до нуля, а якщо амплітуди неоднакові, то інтерференційна картина накладається на рівномірно освітлений фон. Можливість спостереження світлих і темних смуг, що чергуються суттєво залежить від цього фону. Тому для оцінки видності, або контрастності, інтерференційної картини в деякій точці інтерференційного поля Майкельсоном вводиться параметр видності V :

$$V = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\max} + E_{\min}},$$

де E_{\max} і E_{\min} - максимальна і мінімальна освітленості інтерференційних смуг поблизу вибраної точки поля. Параметр V може змінюватись в межах від 1 до 0:

1 – відповідає найбільш контрастній картині,

0 – повному її зникненню.

Для того, щоб людське око могло впевнено розділяти чергування максимумів і мінімумів на інтерференційній картині, значення V повинно бути не менше 0,1 або $E_{\min} \approx 0,82E_{\max}$. Значення V залежить і від відмінностей в станах поляризації інтерферуючих хвиль, і від наявності некогерентного світла у складі інтерферуючих світлових пучків. Часто зустрічаються випадки, коли здійснюється інтерференція світлових пучків, у склад яких входить некогерентне світло. В місцях накладання таких світлових пучків некогерентні частини світлових коливань створюють рівномірно освітлений фон, що веде до зниження видимості (контрастності) інтерференційної картини. Параметр видимості дорівнює долі когерентного світла, що присутнє в інтерферуючих світлових пучках.

Відсутність стійкої інтерференційної картини може означати тільки те, що наші джерела не випромінюють когерентних хвиль. Тому в багатьох інтерференційних схемах за допомогою пристроїв отримують два зображення одного випромінюючого джерела. До таких схем належать біпризма Френеля, бідзеркало Френеля, білінза Біє, дзеркало Ллойда та ін.

Біпризма Френеля представляє собою дві призми з малими заломлюючими кутами порядку 30^0 , що складені основами (рис. 1). Падаючий від щілини S пучок світла після заломлення в біпризмі розділиться на два пучки, що переक्रиваються, і ніби поширюється від двох уявних зображень щілин S_1 і S_2 . Так як джерела S_1 і S_2 когерентні, то в просторі за біпризмою буде спостерігатись інтерференційна картина, яка локалізована у всій області перекриття пучків.

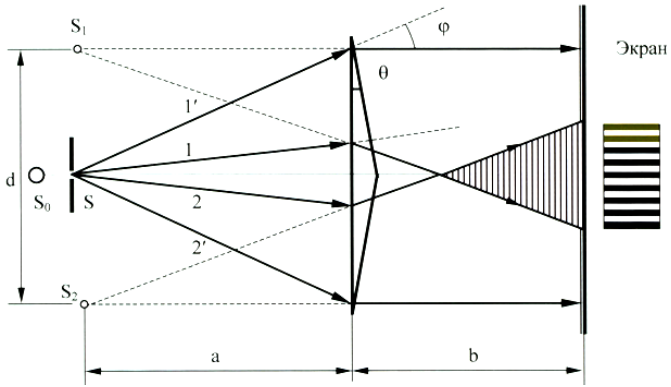


Рис. 1. Біпризма Френеля

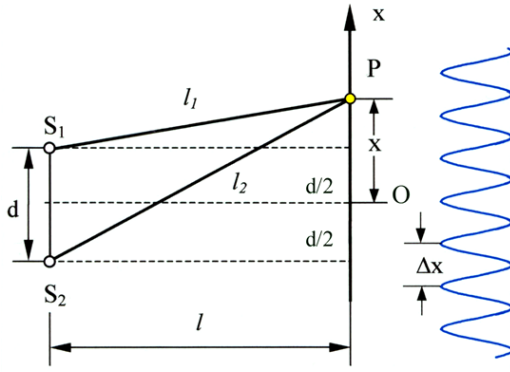


Рис.2. Хід променів

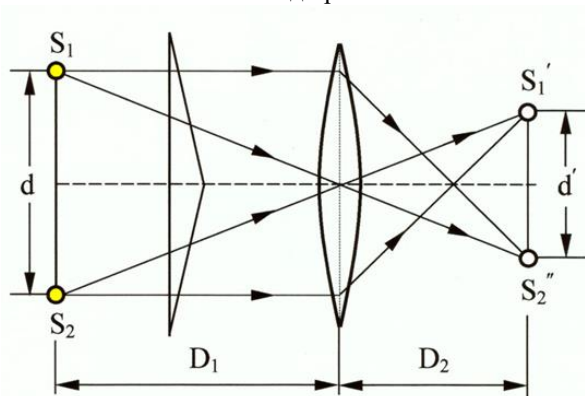


Рис. 3. Оптична схема для визначення відстані між уявними джерелами

Оптична схема для виміру довжини світла приведена на рис. 2. В розміщенні а) визначають відстань між інтерференційними смугами картини, а в розміщенні б) - відстань між уявними зображеннями джерела S_1 і S_2 . Пучок світла, що падає від щілини 2, пройшовши через досліджуваний світлофільтр 3 і заломившись в біпризмі 4, розділиться на два пучка, які перекриваються і ніби поширюються від двох уявних зображень щілин S_1 і S_2 . Так як джерела S_1 і S_2 когерентні, то в просторі за біпризмою буде спостерігатися інтерференційна картина, яка локалізована у всій області перетину пучків.

Біпризма розміщується на відстані 15-20 см від щілини так, щоб ребро тупого кута біпризми було розташовано вертикально. На відстані 70-80 см від біпризми розміщують мікроскоп. Вікно освітлювача, середина щілини, біпризма і мікроскоп повинні бути встановлені на одній висоті. Зробивши щілину досить вузькою, злегка повертають її або біпризму навколо горизонтальної вісі, добиваючись такого положення, щоб щілина була паралельна до ребра біпризми. Контраст картини залежить від ширини щілини і від паралельності між ребром біпризми та щілиною (якщо ж паралельність ця недотримана, а ширина щілини занадто велика - інтерференційна картина взагалі не буде спостерігатися). Картина, яку спостерігають в мікроскоп, лежить в предметній площині мікроскопа, положення якої знаходять за допомогою нитки.

Визначивши за допомогою об'єкт-мікромметра ціну поділки шкали мікроскопа, знаходять величину Δx - відстань між двома сусідніми світлими (або темними) інтерференційними смугами. Для цього виміряють відстань між досить віддаленими одна від одної смугами і ділять цю відстань на число темних (або світлих) смуг. Виміри проводять не менше трьох разів для кожного світлофільтра і результати записують у таблицю. Знаходять середнє значення Δx .

Відстань між уявними джерелами $S_1 S_2 = l$ визначають в розміщенні схеми рис. 3 за допомогою допоміжної лінзи, фокусна відстань якої менша за четвертину відстані між щілиною та предметною площиною мікроскопа.

На оптичній лавці між біпризмою і мікроскопом розміщують лінзу. Щілина, біпризма і мікроскоп повинні бути закріплені нерухомо. Пересуваючи лінзу, добиваються того, щоб через мікроскоп було чітко видно зображення двох щілин, відстань l між якими виміряють по шкалі мікроскопа. Потім виміряють відстань між щілиною та лінзою a і відстань між лінзою та предметною площиною мікроскопа b , що дає можливість за допомогою співвідношення

$$l = l' \frac{a}{b}$$

визначити відстань між уявними джерелами l . Вимірявши відстань d_0 між щілиною та предметною площиною мікроскопа, підставляють значення $l, d_0, \Delta x$ в формулу [7]:

$$\lambda = \Delta x \frac{l}{d_0}$$

(вивести формулу самостійно, використовуючи рекомендовану літературу) та розраховують довжину хвилі світла, що пропускається світлофільтром. Так як у результаті роботи необхідно визначити похибки, то виміри всіх відстаней проводять не менше 3 разів, а потім знаходять середнє значення.

б) Метод порівняння.

Суть цього методу полягає в наступному: використовуючи еталонний світлофільтр з відомою довжиною хвилі λ_e калібруємо установку за спостереженнями інтерференційної картини, тобто вимірюючи для нього значення Δx_e . Не змінюючи відстані l і d_0 , замість еталонного світлофільтра встановлюємо по чергово досліджувані світлофільтри, вимірюємо відповідні відстані між інтерференційними смугами ($\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_3 \dots$). Одночасно необхідно порахувати повне число n видимих інтерференційних смуг вліво або вправо від центральної ($n=0$) ахроматичної смуги.

Довжини хвиль світла, що пропускається досліджуваними світлофільтрами, визначаємо використовуючи співвідношення:

$$\frac{\lambda_{.1}}{\lambda_{.e}} = \frac{\Delta x_1}{\Delta x_e}$$

Спектральний інтервал пропускання (смуга пропускання) світлофільтрів визначаємо із співвідношення:

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda}{n}$$

Після визначення довжин хвиль та смуги пропускання вираховують похибки вимірювань.

Контрольні запитання

1. Нарисуйте хід променів у біпризмі Френеля
2. Які способи створення когерентних джерел Вам відомі?
3. Які хвилі називаються монохроматичними?
4. Запишіть формулу для видимості інтерференційної картини
5. В чому суть методу порівняння визначення довжини хвилі світла?

ЛІТЕРАТУРА

1. Романюк М.О. Оптика : підручник / М.О.Романюк, А.С.Крочук, І.П.Пашук; за ред. проф. М.О.Романюка. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка. 2012. – 564 с.
2. Ландсберг Г.С. Общий курс физики: оптика. Учебн. пособие: для вузов. – 6-е изд. стереот. - М: ФИЗМАЛИТ, 2003. – 848 с.
3. Гаркуша І.П., Горбачук І.Т., Курінний І.М. Загальний курс фізики. Збірник задач. - К: Техніка. – 2004.- 560 с.
4. Е.И.Бутиков. Оптика. – М.:Высшая школа, 1986.
5. Зоммерфельд А. Оптика: пер. с нем. / А. Зоммерфельд. - М.: ИИЛ, 1953. - 486 с.

Лабораторна робота №12

Контроль якості обробки поверхонь оптичних деталей за допомогою мікроінтерферометра лінніка МП-4

Мета роботи: освоєння методу контролю якості обробки поверхонь оптичних деталей за допомогою мікроінтерферометра Лінніка МП-4.

Завдання:

1. Вивчити будову та принцип дії МП-4, накреслити оптичну схему.
2. Освоїти методику визначення глибини штрихів та характеру нерівностей (впадин, виступів).
3. Від'юстувати прилад і отримати інтерференційну картину.
4. Виміряти глибину (висоту) нерівностей в 10 областях поверхні (по 3 - 5 значень для кожної області).
5. Визначити характер нерівностей (впадина чи виступ).
6. Провести контроль чистоти обробки досліджуваної поверхні за Держ. стандартом, розрахувавши параметри R_a , R_z , σ .

Обладнання й матеріали: мікроінтерферометр МП-4, блок живлення, досліджуваний зразок.

Теоретична частина

Мікроінтерферометр Лінніка МП-4 використовується для візуальної оцінки, вимірювання та фотографування висот нерівностей тонкообробленої поверхні.

1. Оптична схема мікроінтерферометра.

Оптична схема МП-4 показана на мал.1. Пучок променів від джерела світла 1 (лампа розжарення, 8в) проектується конденсором 2 через світлофільтр в площину апертурної діафрагми 3. В фокальній площині проєкційного об'єктиву 4 розміщена польова діафрагма 5. Паралельний пучок променів при виході із об'єктиву 3 падає на напівпрозору розділяючу пластинку 6. Відбита частина пучка променів від пластинки 6, що утворює першу вітку мікроінтерферометра, збирається в фокальній площині об'єктиву 7 на досліджуваній поверхні. Після відбивання від цієї поверхні випромінювання знову проходить

через об'єктив 7 та пластинку 6 і збирається у фокусі об'єктиву 8, де за допомогою окуляра 13 спостерігається зображення досліджуваної поверхні. Дзеркало 14 направляє пучок променів в окуляр 13 візирного тубуса.

Якщо окуляр 9 вилучити із схеми, то можна розглядати два зображення апертурної діафрагми, яка є зінціями виходу системи. Від положення цих зображень залежить форма, положення та інтервал між смугами. Світлофільтр 3 використовують для спостереження інтерференційної картини в монохроматичному світлі. При спостереженні в білому світлі світлофільтр виключається.

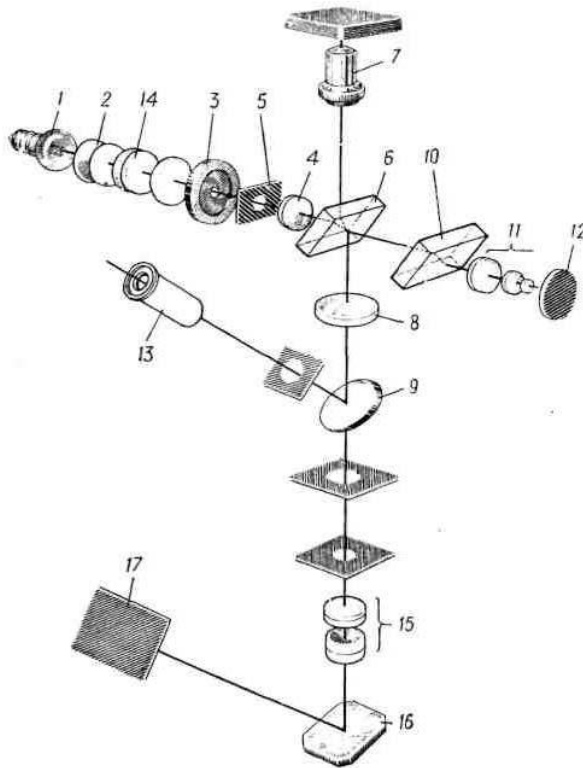


Рис. 1. Оптична система мікроінтерферометра.

Частина пучка променів, яка пройшла через пластинку 6 (друга вітка мікроінтерферометра), проходить крізь компенсатор 10 і збирається у фокусі об'єктиву 11. Після відбивання від еталонного дзеркала 12 пучок променів знову проходить через об'єктив 11, компенсатор 8 і попадає на пластинку 7, яка одну частину променів також пропускає, а іншу відбиває. Компенсатор 10 служить для компенсації різниці ходу променів в пластинці 6, що утворюється внаслідок проходження пучка в першій вітці інтерферометра. Перша частина променів в подальшому не приймає участь у формуванні зображення, інша ж частина інтерферує з променями другої вітки інтерферометра і утворює зображення інтерференційних смуг на безмежності. Це зображення передається об'єктивом 8 в фокальну площину окуляра 13. Таким чином, в фокальній площині окуляра можна одночасно спостерігати зображення інтерференційних смуг і зображення досліджуваної поверхні.

Мікроскоп МП- 4 (мал.2) має основу 18 з отвором збоку, в який може бути встановлений фотоапарат або рамка з матовим склом 20. На циліндричній колонці 21 закріплений предметний столик 22, який переміщується в двох взаємоперпендикулярних напрямках за допомогою двох мікрометричних гвинтів 23. Предметний столик можна повертати від руки навколо вертикальної вісі та закріплювати зажимним гвинтом 24. Для візуального спостереження в колонці є тубус 25, в отвір якого вставляється або окуляр 15^x збільшення, або гвинтовий окуляр-мікрометр 26 для виміру викривлень інтерференційних смуг.

На тубусі є кільце 27, поворотом якого можна вводити в оптичну систему або виводити з неї дзеркало 14 (див. мал.1) візуального тубуса. При візуальному спостереженні або вимірюванні дзеркало 14 повинно бути введено в оптичну систему, а при фотографуванні - виведено.

Фокусування мікроскопа на об'єкт здійснюється переміщенням інтерференційної головки при повороті мікрометричного гвинта 28 (див. мал.2). Величина вертикального переміщення інтерференційної головки може бути відрахована по шкалі барабана мікрометричного гвинта.

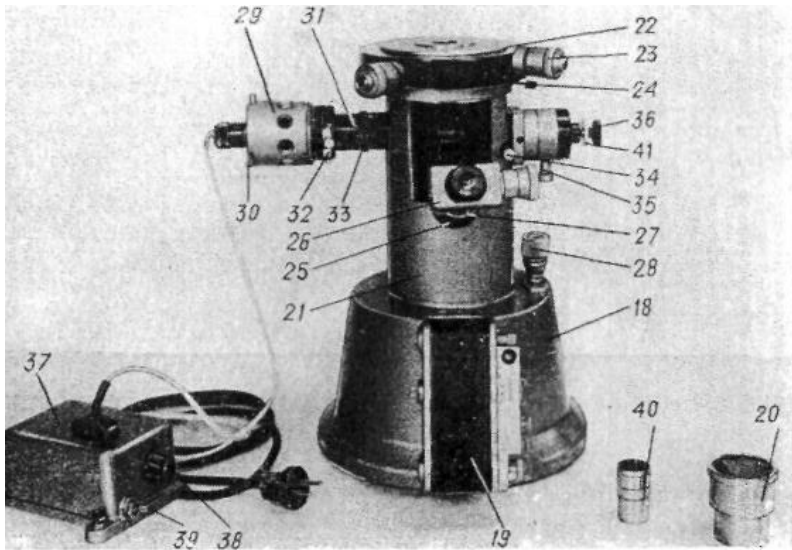


Рис. 2. Будова мікроінтерферометра.

Найбільш відповідальна частина МІ-4 - інтерференційна головка, яка знаходиться всередині мікроскопа. Вона складається з трьох частин: освітлювальної, розділюючої та пристрою для зміни ширини та напрямку смуг.

В середню частину інтерференційної головки вгвинчений об'єктив 11 (див. мал.1). В корпусі середньої частини встановлені розділююча пластинка 7 та компенсатор 8. Пристрій 34 (див. мал.2) служить для включення шторки. При включеній шторці промені не попадають в об'єктив 9 (див. мал.1); в цьому випадку на мікроінтерферометрі можна працювати як на металографічному мікроскопі. На торці пристрою 34 (див. мал.2) нанесена стрілка, яка вказує положення шторки.

В правій частині головки встановлені об'єктив 9 (див. мал.1) та еталонне дзеркало 10. Ця частина має пристрій для зміни ширини та напрямку інтерференційних смуг. Ширина смуг змінюється поворотом гвинта 35 (див. мал.2) навколо його осі. Зміна напрямку смуг здійснюється цим же гвинтом шляхом

обертання його навколо осі інтерференційної головки. Гвинт 36 служить для внесення інтерференційних смуг в поле зору мікроскопа.

2. Порядок роботи з приладом.

2.1. Налаштування мікроінтерферометра.

Перед початком роботи на мікроінтерферометрі вмикають освітлювальну лампу (8в, 9вт) через трансформатор. Об'єкт розміщують на предметному столику досліджуваною поверхнею донизу до об'єктива. Вийнявши окуляр із тубуса та центруючи гвинтами 30, джерело світла встановлюють так, щоб зображення нитки лампи знаходилося в зіниці об'єктива, потім окуляр знову вставляють в тубус, пристроєм 34 встановлюють стрілку в горизонтальне положення і, обертаючи мікрометричний гвинт 28, фокусують мікроскоп на досліджувану поверхню. Поворотом пристрою 34 включають об'єктивну головку (стрілка в вертикальному положенні), після чого в полі зору видно інтерференційні смуги. Поворотом гвинта 28 добиваються чіткого зображення смуг і одночасного зображення досліджуваної поверхні. Для отримання найбільшого контрасту смуг потрібно поворотом кільця 33 зменшити отвір діафрагми. Інтервал між смугами встановлюється обертанням головки гвинта 35. Цим же гвинтом інтерференційні смуги встановлюються перпендикулярно до штрихів на досліджуваній поверхні. Для цього гвинт повертають навколо осі інтерференційної головки.

2.2. Визначення величини нерівностей (виступу або впадини).

Вимірювання величини нерівностей можна проводити двома методами: на око та за допомогою гвинтового окулярного мікрометра.

При правильній настройці мікроінтерферометра в його полі зору повинно бути видно одночасно досліджувану поверхню та інтерференційні смуги, які вигнуті в місцях, де проходять нерівності. Причому інтерференційні смуги повинні бути орієнтовані перпендикулярно до напрямку подряпин чи виступів.

При вимірюванні глибини впадини (висоти виступу) на око слід визначити, на яку частину інтервалу між смугами або на

скільки інтервалів вигинається смуга в місці проходження подряпини.

При роботі з білим світлом глибина впадини (висота виступу) визначається з наступної формули:

$$H = 0,27 \Delta N \text{ мкм},$$

а при роботі з монохроматичним світлом - з формули:

$$H = 1/2 \lambda \Delta N \text{ мкм},$$

де H - глибина впадини (висота виступу),

ΔN - величина згину полоси в частинах інтервалу,

λ - довжина хвилі світла, яка вказана у паспорті.

Для вимірювання за допомогою гвинтового окулярного мікрометра потрібно встановити його на тубус мікроінтерферометра до упору, потім повернути так, щоб одна з ниток перехрестя співпадала з напрямком інтерференційних смуг, а інша - з напрямком подряпин на досліджуваній поверхні. Після цього закріпити гвинтовий окулярний мікрометр зажимним гвинтом.

Для визначення величини нерівності необхідно виміряти величину інтервалу згину смуг та вирахувати висоту нерівностей.

2.2.1. Вимірювання величини інтервалу між смугами.

Величина інтервалу між смугами визначається числом поділок шкали барабану окулярного мікрометра. Для більшої точності вимірювання юстування нитки перехрестя сітки окулярного мікрометра краще всього проводити по середині, а не по краю смуги.

На рис. 3 показаний вигляд вузької полоски поля зору мікроінтерферометра у збільшеному масштабі та вказане правильне положення горизонтального штриха перехрестя гвинтового окулярного мікрометра при вимірюванні.

Перший відлік N_1 знімають з шкали гвинтового окулярного мікрометра при суміщенні однієї з ниток перехрестя рухомої сітки з серединою смуги; потім

суміщають цю ж нитку перехрестя з серединою наступної смуги або, у випадку роботи з монохроматичним світлом, з серединою якої-небудь іншої смуги і отримують другий відлік N_2 ; при цьому необхідно відмітити число інтервалів n між смугами.

2.2.2. Вимірювання величини згину смуг.

Величину згину смуг також виражають в поділках шкали барабану окулярного гвинтового мікрометра.

Одну з ниток перехрестя сітки мікрометра суміщають з серединою смуги і по шкалах окулярного мікрометра знімають відлік N_3 . Потім нитку перехрестя суміщають з серединою тієї ж смуги в місці згину і отримують другий відлік N_4 .

Величина згину смуги в долях інтервалу між смугами задається формулою:

$$\Delta N = \frac{N_3 - N_4}{N_1 - N_2} n .$$

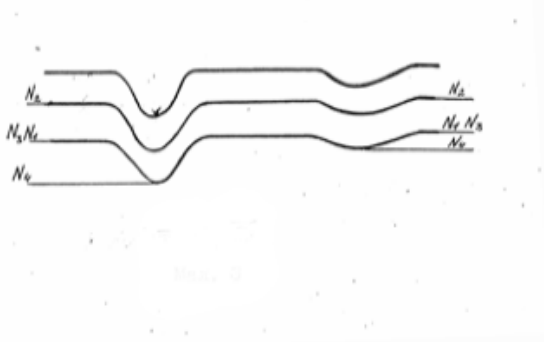


Рис. 3. Поле зору мікроінтерферометра в збільшеному вигляді

2.2.3. Визначення величини нерівності.

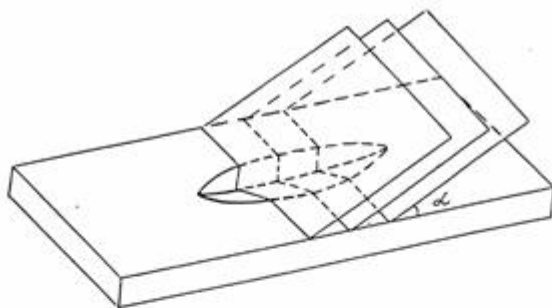
При роботі в білому світлі викривлення в одну інтерференційну смугу відповідає висоті нерівності на досліджуваній поверхні, яка рівна 0,27 мкм. В такому випадку висота нерівності H в мікрометрах визначається з формули:

$$H = 0,27 \frac{N_3 - N_4}{N_1 - N_2} n ,$$

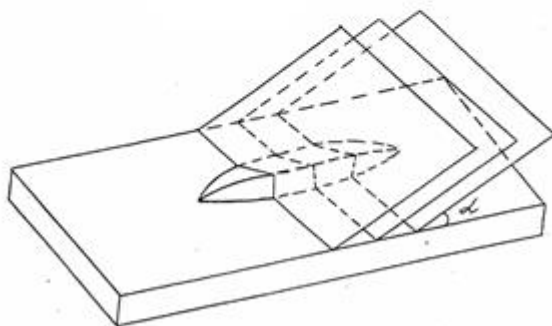
де N_1 - перший відлік при вимірюванні інтервалу між смугами,
 N_2 - другий відлік при вимірюванні інтервалу між смугами,
 N_3 - перший відлік при вимірюванні величини згину смуги,
 N_4 - другий відлік при вимірюванні величини згину смуги,
 n - число інтервалів між смугами.

3. Методика визначення характеру нерівностей (впадини, виступи).

Інтерференційна картина у вигляді смуг утворюється в результаті того, що поверхня досліджуваного зразка розміщена під невеликим кутом α до поверхні хвильового фронту, відбитого від дзеркала. Хвильовий фронт представляє собою систему паралельних площин рівних фаз, віддалених одна від одної на відстань λ



а



б

Рис.4. Інтерференційні смуги у випадку впадини (а) та виступу (б)

З рис. 4а видно, що у випадку впадини згини інтерференційних смуг направлені в сторону вершини кута α , утвореного поверхнею зразка та площиною хвильового фронту.

З рис. 4б видно, що у випадку виступу згини інтерференційних смуг направлені в сторону розтину кута α .

Зрозуміло, що для визначення характеру нерівності необхідно в'яснити напрямок розтину кута α та співставити побачене з рис. 4а,б. Для цього тубус мікроскопа переміщуємо у напрямку до поверхні зразка. При цьому інтерференційна картина починає зміщуватися в сторону розтвину кута α .

Це пов'язано з тим, що для спостереження інтерференційної картини повинна зберігатися рівність відстаней від розділяючої грані кубика до дзеркала та до поверхні (тобто $OA=OB$, рис.5). Іншими словами, вздовж розділяючої грані кубика система інтерферометра завжди «вибирає» ділянку, відстань від якої до об'єкта та до опорного дзеркала рівні ($OA=OA=OB$).

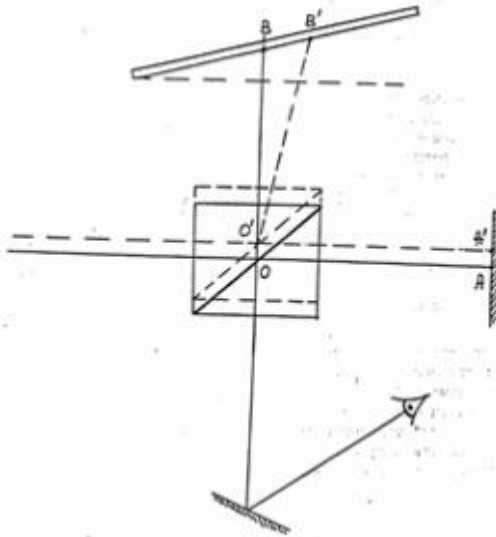


Рис.5. Хід променів

4. Визначення параметрів для контролю якості обробки поверхонь.

В якості основних параметрів, затверджених Держстандартом для контролю чистоти обробки поверхні, використовуються величини R_a і R_z . Основний параметр R_a - середнє арифметичне відхилення нерівностей від середньої лінії профілю. Так звана «середня лінія» прийнята для кількісної характеристики шорсткої поверхні при обробці профілю. Вона поділяє профіль таким чином, що площі фігур по обидві сторони від цієї лінії рівні між собою.

Математично величина R_a може бути визначена як:

$$R_a = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n}{n},$$

де h - відхилення нерівностей від середньої лінії профілю поверхні.

Іншими важливим параметром при контролі чистоти обробки поверхонь є величина R_z , яка представляє собою середню різницю між п'ятьма найвищими та п'ятьма найнижчими точками профілю в межах базової лінії:

$$R_z = \frac{(h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5) - (h_6 + h_7 + h_8 + h_9 + h_{10})}{5},$$

де h_i - висоти вказаних точок від деякої лінії, яка паралельна до середньої лінії.

В даний час часто використовується параметр шорсткості, який називають середньоквадратичним відхиленням від середньої лінії профілю, і який позначається σ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{h_1^2 + h_2^2 + h_3^2 + \dots + h_n^2}{n}}.$$

Контрольні запитання

1. Типи інтерферометрів: інтерферометр Жамена, Релея, Фабрі-Перо, Маха-Цандера та ін.
2. Інтерферометр Майкельсона, будова, принцип роботи, основні області застосування.
3. Коли утворюються смуги рівної товщини та рівного нахилу?
4. Що таке когерентність випромінювання? Довжина когерентності?
5. Які параметри шорсткості поверхні за Держстандартом?

ЛІТЕРАТУРА

1. Романюк М.О. Оптика : підручник / М.О.Романюк, А.С.Крочук, І.П.Пашук; за ред. проф. М.О.Романюка. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка. 2012. – 564 с.
2. Ландсберг Г.С. Общий курс физики: оптика. Учебн. пособие: для вузов. – 6-е изд. стереот. - М: ФИЗМАЛИТ, 2003. – 848 с.
3. Гаркуша І.П., Горбачук І.Т., Курінний І.М. Загальний курс фізики. Збірник задач. - К: Техніка. – 2004.- 560 с.
4. Е.И.Бутиков. Оптика. – М.:Высшая школа, 1986. (
5. Зоммерфельд А. Оптика: пер. с нем. / А. Зоммерфельд. - М.: ИИЛ, 1953. - 486 с.
6. 5. А.С.Топорец. Оптика шероховатой поверхности. — Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1988. — 191 с.

Лабораторна робота № 13

Визначення радіуса кривизни лінзи та дослідження світлофільтрів методом спостереження кілець ньютонів

Мета роботи: вивчення явища виникнення інтерференційних кілець Ньютона та освоєння методики визначення радіуса кривизни лінзи.

Завдання:

1. Вивчити явище виникнення інтерференційних кілець Ньютона.
2. Освоїти методику визначення радіуса кривизни лінзи, довжини хвилі світла та ширини спектрального інтервалу і визначити похибки методу та вимірювань
3. Отримати картину кілець Ньютона. Визначити радіус кривизни лінзи по розмірах кілець Ньютона при освітленні світлом з відомою довжиною хвилі λ . Оцінити похибку.
4. Визначити середнє значення довжини хвилі світла, що пропущене досліджуваним світлофільтром. Оцінити похибку, враховуючи похибку у визначенні радіуса кривизни лінзи.
5. Визначити ширину смуги пропускання досліджуваного світлофільтра.

Обладнання й матеріали: мікроскоп, лінза, чорне скло, два світлофільтри.

Теоретичний вступ

У даній лабораторній роботі вивчають інтерференційну картину, що носить назву кілець Ньютона. Так як контрастна інтерференційна картина виникає в основному у відбитому світлі, то пристрій для спостереження кілець Ньютона здійснюється з урахуванням цієї обставини. Нехай плоска світлова хвиля падає на систему зі скляної лінзи і скляної чорної платівки, як це показано на *рис. 1*. Плоскоопукла лінза L великого радіуса кривизни накладається опуклою стороною на плоску скляну пластину P . Між дотичними в точці M поверхнями лінзи L і пластини P утворюється повітряний клиноподібний шар.

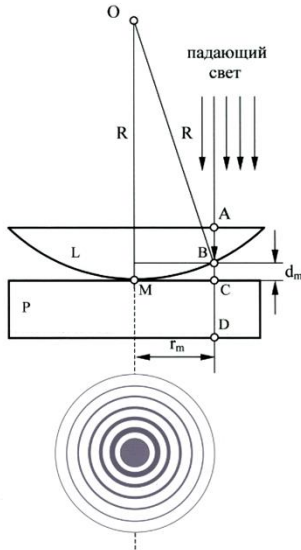


Рис.1. Оптична схема для спостереження кілець Ньютона

Відображення світлових хвиль відбувається в точках А, В, С і D. Проте, досить малу протяжність має лише відрізок ВС (довжина відрізка l менше l ког.), Тому когерентними можна вважати лише хвилі, відбиті від нижньої поверхні лінзи (точка В) і верхньої поверхні пластини (точка С). У точці В світловий промінь розділяється на два (рис. 2). Один – промінь відбивається від опуклої поверхні лінзи (промінь 1), другий (промінь 2) заломлений, проходить повітряний прошарок між лінзою та пластинною і відбившись від верхньої поверхні пластини в точці С повертається назад.

1. Методика визначення радіуса кривизни лінзи.

Мікроскоп фокусує на верхню поверхню чорного скла, поклавши на нього кусок міліметрового паперу. Потім замість паперу кладуть лінзу і за допомогою гвинтів координатного столика встановлюють лінзу так, щоб точка дотику лінзи та пластинки попала в центр поля зору

мікроскопа. При цьому ньютоніві кільця, які утворюються на межі повітряного шару та лінзи, повинні бути чіткими. Якщо цього не буде, то, не знімаючи лінзи, змінюють фокусовку мікроскопа. Якщо у точці дотику замість темної плями отримається світла, то це означає, що між поверхнями лінзи та скла є порошок, які слід забрати.

За допомогою гвинтів координатного столика встановлюють лінзу та пластинку таким чином, щоб центральна пляма кілець Ньютона знаходилась в центрі поля зору. Спостереження ведуть через гвинтовий окулярний мікрометр, який встановлюють замість окуляра мікроскопа. На нього кладуть інтерференційний світлофільтр і починають вимірювання радіусів кілець. Працюють зі світлими кільцями, так як на світлих кільцях краще видно темне перехрестя окулярного мікроскопа.

Для збільшення точності вимірювання використовують радіуси кілець більш високих порядків, так як найближчі до центральної плями декілька кілець, як правило, бувають сильно розмитими і це ускладнює вимірювання.

Вимірювання радіусів кілець Ньютона проводять в такому порядку: повертаючи барабанчик окулярного мікрометра встановлюють перехрестя на середину вибраного світлого кільця (рис. 2.) і записують відлік. Потім, трохи змістивши положення перехрестя вліво або вправо, поворотом барабанчика мікрометра знову встановлюють перехрестя на середину того ж світлого кільця і записують відлік. Такі виміри проводять не менше трьох разів.

Обертаючи барабанчик мікрометра, зміщують перехрестя до тих пір, поки воно не співпаде з серединою того ж світлого кільця з іншого боку від центру кілець (Рис.1). Таким чином отримують ряд відліків:

$N_{кп1}, N_{кп2}, N_{кп3}$ - відліки справа для k -го кільця,

$N_{кл1}, N_{кл2}, N_{кл3}$ - відліки зліва для k -го кільця.

Визначивши середнє значення відліків $N_{\text{кп}}$ і $N_{\text{кл}}$, знаходять діаметр потрібного кільця:

$$D = N_{\text{кп}} - N_{\text{кл}} .$$

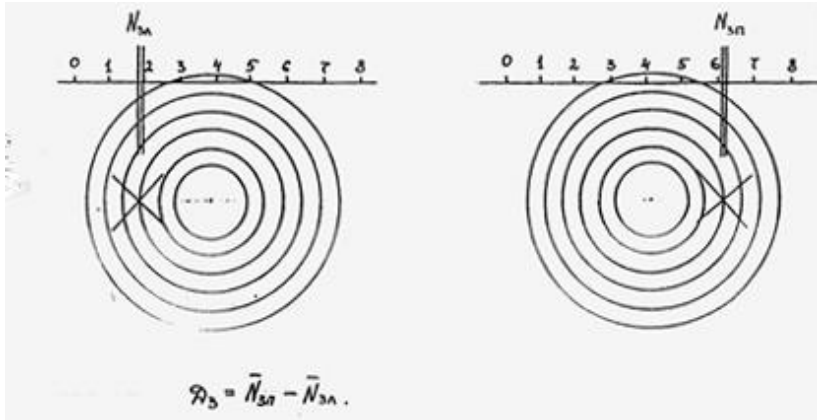


Рис. 2. Зняття відліку кільця Ньютона

Таким же чином знаходять діаметри інших кілець Ньютона. Потім визначають радіуси кілець i , підставляючи відповідні значення радіусів r у формулу

$$R = \frac{r_m^2 - r_k^2}{(m - k)\lambda} = \frac{(r_m - r_k)(r_m + r_k)}{(m - k)\lambda} ,$$

знаходять радіус кривизни лінзи R . Для підвищення точності рекомендується вибирати три пари кілець в межах від 5 до 30. Пари вибирають таким чином, щоб у них входили кільця з номером k та $k/2$ (наприклад, 5 і 10, 6 і 12, 7 і 14, 10 і 20 і т.д.). Із отриманих значень R_1 , R_2 , R_3 знаходять R середнє, визначають абсолютну та відносну похибки і дані заносять у таблицю (див. додаток).

2. Визначення середнього значення довжини хвилі світла, яке пропущене досліджуванім світлофільтром.

Замість відомого світлофільтра встановлюють досліджуваний і повторюють всі виміри, що вказані у попередньому пункті. Підставляючи в формулу значення радіуса кривизни лінзи, яке знайдене в результаті виконання попереднього завдання, визначають довжину хвилі пропускання світлофільтра.

3. Оцінка ширини смуги пропускання світлофільтра.

Визначають максимальний порядок інтерференції (максимальне число кілець, що спостерігається в окуляр мікроскопа для даного світлофільтра) m та підставляють у формулу

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda}{m},$$

де λ - довжина хвилі, $\Delta\lambda$ - ширина смуги пропускання.

Додаток

	4	4	8	8	5	5	10	10	6	6	12	12
№												
1												
2												
3												
\overline{N}												
D												
r												
R												
\overline{R}												

1												
2												
3												
\overline{N}												
D												
r												
λ												
$\overline{\lambda}$												

Контрольні запитання

1. Дати визначення явища інтерференції світла. Пояснити як утворюється інтерференційна картина типу смуг рівної товщини.
2. Пояснити принцип утворення кілець Ньютона, вивести співвідношення, що визначає значення радіусів світлих і темних кілець Ньютона.
3. Чи можна спостерігати кільця у світлі, що проходить ?
4. Чому в білому світлі видно мало кілець ?

ЛІТЕРАТУРА

1. Ландсберг Г.С. Общий курс физики: оптика. Учебн. пособие: для вузов. – 6-е изд. стереот. - М: ФИЗМАЛИТ, 2003. – 848 с.
2. Физический практикум. Электричество и оптика. Под ред. В.И. Ивероной. – М.: Наука. 1968. Разд. «Оптика», задача №105.
3. Е.И.Бутиков. Оптика. – М.:Высшая школа, 1986.
4. Гаркуша І.П., Горбачук І.Т., Курінний І.М. Загальний курс фізики. Збірник задач. - К: Техніка. – 2004.- 560 с.

Лабораторна робота № 17

Дослідження характеристик дифракційної ґратки на гоніометрі

Мета роботи: освоїти теорію дифракційних ґраток; дослідити характеристики дифракційної ґратки на гоніометрі Г5М.

Завдання:

1. Вивчити теорію дифракційних ґраток (дифракція на щілині, на двох щілинах, на багатьох щілинах; залежність дифракційної картини від співвідношення ширини щілини і непрозорої частини між щілинами; дисперсія і роздільна здатність, як функція параметрів ґратки).
 2. Освоїти гоніометр ГМ5.
 3. Визначити період дифракційної ґратки, використовуючи зелені лінії спектра ртуті ($\lambda = 0,546$ мкм).
 4. Обчислити кутову дисперсію для спектрів різних порядків по двох жовтих лініях ртуті.
1. Визначити невідомі довжини хвиль спектральних ліній ртуті і роздільну здатність ґратки для спектрів різних порядків.

Обладнання та матеріали: гоніометр Г5М, ртутна лампа, дифракційна ґратка.

Будова гоніометра Г5М

Гоніометр складається з автоколіматора 1 (рис. 1), мікроскопа 2, корпусу 3, столика 4 із німбом і осьовою системою. Фокусування автоколіматора проводиться маховичков 5 за шкалою 6, на якій є індекс « ∞ » та поділкі. Гвинт 7 служить для юстування візирної осі по вертикалі. Окуляри кріпляться до автоколіматора власними кільцями 8. Лімб гоніометра освітлюється лампою, закритою ковпачком 9. Установка осі лімба у вертикальне положення проводиться гвинтами 10 по рівню 11. Поворот лімба щодо столика здійснюється маховичков 12 при закрученому гвинті 13.

Обертання лімба зі столиком проводиться грубо від руки і точно мікрометренним гвинтом 14 при закрученому гвинті 13. Обертання столика при нерухомому лімбі проводиться грубо від

руки при закрученому гвинті 13 і відпущеному гвинті 15. Точне обертання здійснюється мікрометричним гвинтом 16 при закручених гвинтах 15 і 13.

Для правильної установки дифракційної ґратки передбачений нахил столика в двох взаємно перпендикулярних площинах, здійснюваний гвинтами 17 і 18. Для зміни висоти столика є набір кілець 19.

Прилад включається в мережу змінного струму вимикачем 20 на передній панелі приладу.

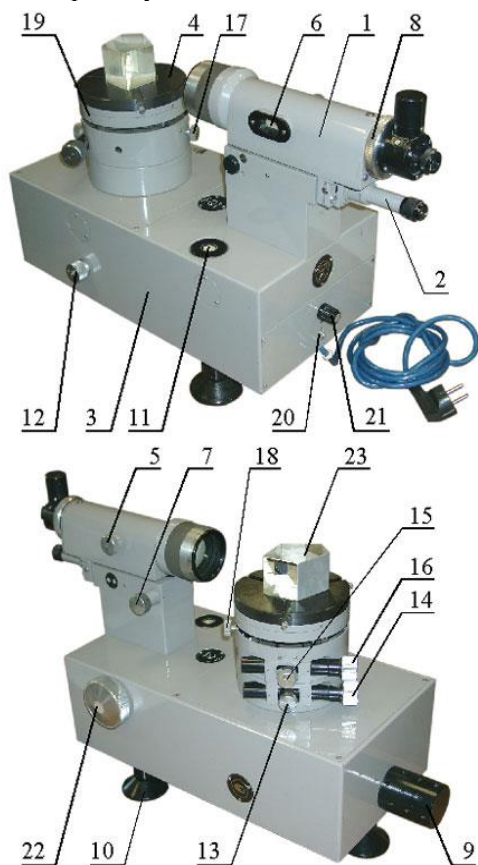


Рис. 1. Будова гоніометра Г5М.

Оптична схема гоніометра Г5М

Оптична схема гоніометра складається з автоколіматора і відлікової системи (рис. 2).

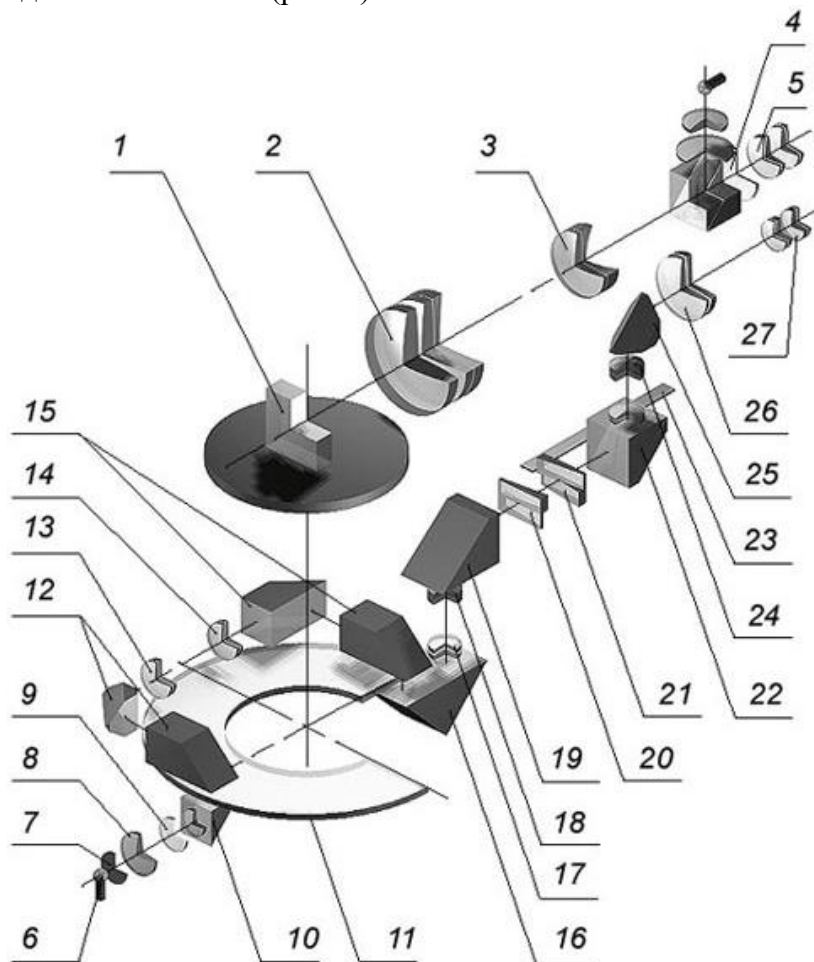


Рис. 2. Оптична схема гоніометра Г5М.

Автоколіматора 2, 3, 4, 5 являє собою телескопічну систему з внутрішньою фокусуванням.

Відліковий пристрій складається з підсвічування 6, 7, 8, 9, 10, скляного лімба 11, містка 12, 13, 14, 15, оптичного мікрометра 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 і відлікового мікроскопа 24, 25, 26, 27.

Лампа 6 через матове скло 7, конденсор 8, 9 і світлофільтр призму 10 висвітлює лімб 11. Шкала лімба має 1080 поділів, ціна поділки $20'$. Оцифровка поділів проведена через 1° . Зображення штрихів лімба через місток 12, 13, 14, 15 передається на діаметрально протилежний ділянку лімба. При цьому значно знижується вплив ексцентриситету лімба на значення відліку.

Зображення штрихів двох діаметрально протилежних ділянок лімба передаються в оптичний мікрометр.

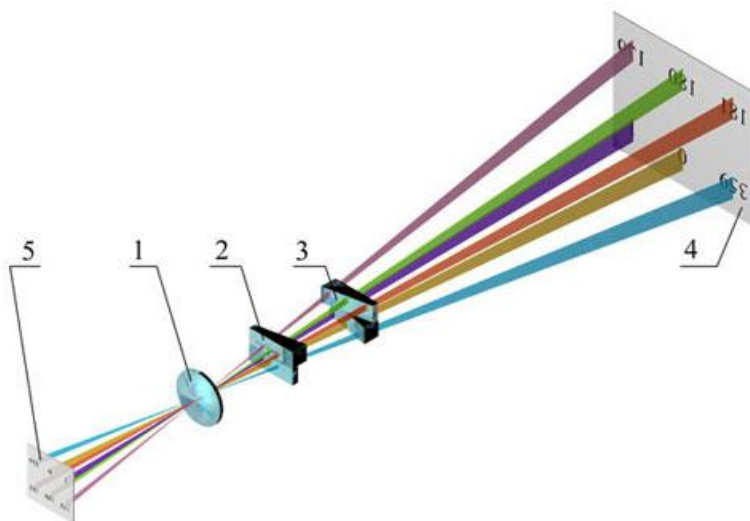


Рис. 3. Схема оптичного мікрометра

Принцип дії оптичного мікрометра полягає в наступному. На шляху променів від лімба 11 до розподільчому блоку 22 вміщено дві пари оптичних клинів 20 і 21 (рис. 2). У верхній і нижній парях клини мають однакові, але спрямовані в протилежні сторони кути і являють собою в сумі плоскопа пластили (рис. 3).

Верхні клини з пар клинів 2 і 3 розташовані на шляху променів, що дають пряме зображення штрихів лімба, нижні - на шляху променів дають зворотне зображення штрихів діаметрально протилежної ділянки лімба. При русі рухомих клинів 3 уздовж оптичної осі промені переміщуються в поперечному напрямку. Таким чином, переміщенням клинів у прямому і зворотному напрямках поєднуються або розлучаються зображення штрихів 4 діаметрально протилежних зображень ділянок лімба 5.

Зображення штрихів лімба і шкали 23 мікрометра, жорстко з'єднаної з рухомими клинами, розглядають в окуляр 27.

При переміщенні шкали на 600 поділок верхнє зображення штрихів лімба зміщається щодо нижнього на $10'$. Кожне поділ шкали мікрометра відповідає $1 / 600$ кута $10'$ тобто куті, рівному $1''$.

Зняття відліку

Поле зору відлікового мікроскопа наведено на рис. 4.

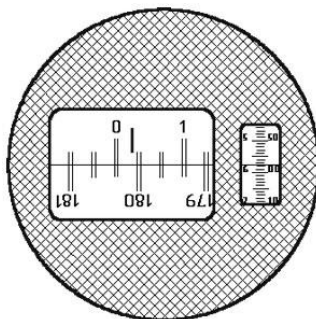


Рис. 4. Шкала зняття відліку

Щоб зняти відлік за лімбом, необхідно повернути маховичок оптичного мікрометра до суміщення верхніх і нижніх зображень штрихів лімба в лівому вікні. Число градусів відповідає найближчій лівій від вертикального індексу цифрі. Число десятків хвилин дорівнює кількості інтервалів, що вміщуються між верхнім штрихом, який відповідає числу градусів і нижнім оцифрованим штрихом, що відрізняється від верхнього на 180° . Число одиниць хвилин відлічується за шкалою мікрометра в

правому вікні по лівому ряду чисел. Число десятків секунд - у тому ж вікні по правому ряду чисел. Число одиниць секунд дорівнює числу поділок між штрихами, відповідними відліком десятків секунд, і нерухомим горизонтальним штрихом. Положення, показане на рисунку 4, відповідає $0^{\circ}15'57''$.

Порядок виконання роботи

1. Установка дифракційної ґратки

Для того, щоб правильно встановити дифракційну ґратку, спочатку обертанням освітлювача наводять хрест в окулярі зорової труби на щілину, що освітлена ртутною лампою, і закріплюють плече з освітлювачем у цьому положенні; потім ставлять на столик ґратку так, щоб штрихи її були вертикальні, тобто паралельні до осі обертання приладу, а її площина – перпендикулярна до осі зорової труби. Обертаючи столик, установлюють ґратку строго перпендикулярно до пучка, що її освітлює (відбитий від ґратки пучок повинен попадати в зорову трубу). Суміщають зображення хреста в окулярі з відбитим від поверхні ґратки хрестом.

Повертаючи столик із ґраткою на 180° , перевіряють установку ґратки. Вона вважається встановленою, якщо в обох положеннях суміщаються зображення окулярного хреста і відбитого від ґратки хреста.

В одному з цих двох положень столик із ґраткою закріплюють і відраховують по лімбі напрямком на первинний світловий пучок. При даній установці ґратки це буде також напрямком на максимум нульового порядку.

2. Визначення постійної ґратки.

Обертають освітлювач, наприклад, вліво доти, поки в зоровій трубі не з'явиться зелена лінія ртуті ($\lambda=0,546$ мкм) першого порядку. Суміщають вертикальну лінію окулярного хреста із зображенням спектральної лінії і знімають відлік. Продовжуючи обертати освітлювач у ту ж сторону, знаходять ту ж лінію в спектрі другого порядку, наводять на неї трубу, як і в попередньому випадку, і знімають відлік. Чим вище порядок спектра, тим, як правило, меншою стає його яскравість.

Ці ж установки і відліки проробляють праворуч від нульового максимуму (яскрава біла лінія), обертаючи освітлювач у протилежну сторону. Із знятих відліків обчислюють кут між нульовим максимумом і максимумом 1-го, 2-го, 3-го порядків і підставляючи у формулу:

$$\sin \varphi = \frac{m\lambda}{d},$$

де: φ – кут дифракції;
 λ – довжина світлової хвилі зеленої лінії ртуті ($\lambda=0,546$ мкм);
 m – порядок спектра (0, 1, 2, 3, 4, ..);
 d – період ґратки),
знаходять період ґратки d .

3. Визначення кутової дисперсії.

Так само визначають кути і для двох жовтих ліній ртуті і, взявши довжини хвиль цих ліній з таблиці, обчислюють кутову дисперсію по формулі:

$$D = \frac{\Delta\varphi}{\Delta\lambda},$$

де: $\Delta\varphi$ – кутова відстань між спектральними лініями;
 $\Delta\lambda$ – різниця їхніх довжин хвиль, виражена в Å^0 .

4. Визначення невідомих довжин хвиль спектральних ліній ртуті та роздільної здатності ґратки.

Встановивши ґратку з невідомим періодом на столику гоніометра, встановлюють перехрестя у трубі гоніометра на невідхилений промінь (нульовий порядок) і знімають відлік. Обертають освітлювач в яку-небудь сторону, поки в зоровій трубі не з'являться потрібні лінії спектра першого порядку. Встановлюють на них по черзі перехрестя і знімають відліки. Продовжуючи обертати освітлювач, знаходять лінії спектра другого порядку і т. д. Ті ж виміри проробляють по іншу сторону від невідхиленого променя. Вимір кутів роблять так як і в першому досліді.

Підставивши у формулу:

$$\sin \varphi = \frac{m\lambda}{d}$$

значення постійної ґратки d і знайдені з досліду величини φ для відповідних m , визначають довжини хвиль досліджуваних ліній.

Для того, щоб оцінити роздільну здатність ґратки, треба мати джерело світла, спектр якого багатий тісно розташованими лініями, і помітити, яка пара ліній у цьому спектрі задається вже як одна лінія при роботі з даною ґраткою.

Різниця довжин хвиль ліній дасть величину $\Delta\lambda$. Очевидно, що в спектрах різних порядків будуть здаватися накладеними різні пари ліній, і величина буде менша для спектрів високих порядків відповідно до загальних розумінь про роздільну здатність дифракційних ґраток. Обчислюють роздільну здатність, по формулі:

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = mN$$

Переглянувши спектри різних порядків, знаходять такий спектр, у якому які-небудь дві близькі спектральні лінії задовольняють критерієві Релея (видно як одну лінію з невеликим провалом інтенсивності посередині). Знаючи довжини хвиль цих спектральних ліній λ_1 і λ_2 , знаходять:

$$\lambda = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2} \approx \lambda_1 \approx \lambda_2$$

необхідні для обчислення R .

Можна оцінити максимально можливу роздільну здатність інакше. А саме, знаючи постійну ґратки і виміривши довжину ґратки, можна знайти число штрихів N у ній. Зрозуміло, що така оцінка числа передбачає, що освітлені і працюють усі штрихи ґратки. Порядок дифракційного спектра m , що входить у вираз для роздільної здатності, треба взяти з досліду, визначивши, який з найвищих порядків спектру ще має достатню для

спостереження інтенсивність (дуже рідко у навчальних ґратках m виявляється більше 3 або 4).

Контрольні запитання

1. Дати визначення дифракції світла. Сформувати умови спостереження дифракції Фраунгофера.
2. Що представляє собою одновимірна дифракційна ґратка? Які бувають дифракційні ґратки?
3. Записати та обґрунтувати основні співвідношення, які визначають положення максимумів і мінімумів інтенсивності при дифракції світла на одновимірній ґратці.
4. Якими основними параметрами характеризуються дифракційні ґратки? Які бувають похибки дифракційних ґраток?
5. Чим відрізняються спектри дифракційні від призмових?
6. Де застосовуються дифракційні ґратки?

ЛІТЕРАТУРА

1. Ландсберг Г.С. Общій курс фізики: оптика. Учебн. пособие: для вузов. – 6-е изд. стереот. - М: ФИЗМАЛИТ, 2003. – 848 с.
2. Физический практикум. Электричество и оптика. Под ред. В.И. Ивероной. – М.: Наука. 1968.
3. Романюк М.О. Оптика : підручник / М.О.Романюк, А.С.Крочук, І.П.Пашук; за ред. проф. М.О.Романюка. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка. 2012. – 564 с.
4. Зоммерфельд А. Оптика: пер. с нем. / А. Зоммерфельд. - М.: ИИЛ, 1953. - 486 с.
5. Кучерук І.М., Горбачук І.Т. Загальний курс фізики. - У 3 т. - Т. 3. Оптика. Квантова фізика: Навч. посіб. - К.: Техніка, 2006. - 518с.
6. Гониометр Г5М. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.

Лабораторна робота № 20

Вивчення поляризованого світла

Мета роботи: вивчити методи отримання і аналізу лінійно, циркулярно і еліптично поляризованого світла

Завдання:

1. Вивчити теорію питання, методи отримання і аналізу лінійно, циркулярно й еліптично поляризованого світла, прилад і принцип дії поляризуючих і аналізуючих приладів.
2. Виміряти ступінь поляризації світла, яке дає освітлювач приладу.
3. Дослідити залежність інтенсивності світла, яке проходить через систему поляризатор-аналізатор від кута повороту аналізатора і співставити її з теоретично розрахованою (по закону Малюса).
4. Отримати циркулярно поляризоване світло.
5. Отримати еліптично поляризоване світло визначити

відношення напівосей еліпса:
$$\frac{a}{b} = \sqrt{\frac{I_{\max}}{I_{\min}}}$$

6. Записати отримані результати і сформулювати висновок.

Обладнання й матеріали: установка, що зібрана базі мікроскопа; трансформатор; мікроамперметр; поляризатор; аналізатор; слюдяна пластинка.

Опис установки

Установка зібрана на базі мікроскопа (мал.1). В основу мікроскопа вмонтований освітлювач з лампою розжарення, яка живиться через понижуючий трансформатор (1) від розетки. В освітлювачі є діафрагма (2), за допомогою якої можна регулювати величину світлового потоку.

Поляризатор (3) закріплений на вихіднім вікні освітлювача, який вільно рухається в оправі і може при необхідності зніматися. Напрямок, проведений через червоні точки на оправі, відповідає напрямку **H** в пройденому через поляризатор світлі.

Аналізатор установлений на предметному столику мікроскопу, який може обертатись. Кут повороту столика разом з аналізатором відраховується по градусній шкалі, яка розміщена на столику мікроскопу.

Слюдяна пластинка $\lambda/4$ (4) встановлюється в спеціальне гніздо (5) під предметним столиком і вона може повертатися.

Інтенсивність світла, яке пройшло через всю систему, реєструється селеновим фотоелементом (6), котрий знаходиться у верхній частині тубуса і з'єднаний з мікроамперметром (7).

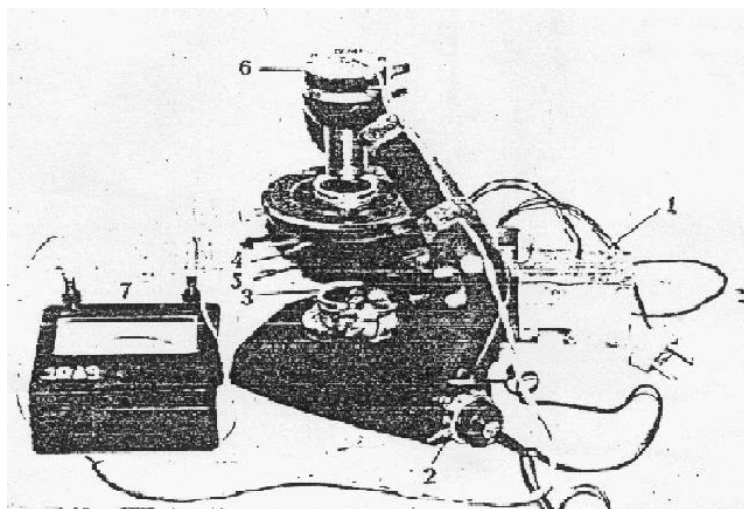


Рис. 1. Загальний вигляд лабораторної установки.

Порядок виконання роботи.

1. Ввімкнути освітлювач, для чого шнур понижуючого трансформатора вставити в розетку.
2. Зняти поляризатор з вихідного вікна освітлювача і виконати пункт 2 завдання, для чого обертаючи аналізатор, зняти залежність інтенсивності світла від кута повороту аналізатора. Відлік знімають через кожних 10^0 (аналізатор потрібно повертати повільно, так як фотоелемент має високу інерційність). Для кожного значення кута повороту зробити по 3 виміри інтенсивності. Отримані значення занести в таблицю

№ 1. Взявши з таблиці $I_{\text{ср. max}}$ та $I_{\text{ср. min}}$, визначити ступінь

поляризації:
$$P = \frac{I_{\text{ср. max}} - I_{\text{ср. min}}}{I_{\text{ср. max}} + I_{\text{ср. min}}} \times 100\%.$$

3. Встановити поляризатор на місце. Повернути аналізатор так, щоб вказівник показував кут повороту 0° . Повільно обертаючи поляризатор, добитися максимального відхилення стрілки мікроамперметра, а потім виконати пункт 3 завдання. Для цього, повертаючи аналізатор через кожних 10° , зняти відлік по шкалі мікроамперметра. Вимірювання проводять 3 рази. Результати вимірювань занести в таблицю №2. По даних таблиці №2 побудувати графік залежності: $\cos^2\alpha$ від α та k від α .
4. Повернути аналізатор на кут $\alpha=90^{\circ}$ (показник мікроамперметра $=0$), установити слюдяну пластинку, і, повертаючи її, добитися максимального показу мікроамперметра. Повільно обертаючи аналізатор, переконатися, що світло, яке пройшло через систему поляризатор-пластина $\lambda/4$ практично циркулярно поляризований. Результати вимірювань записати в таблицю №1.
5. Повернути слюдяну пластинку приблизно на 10° - 15° і дослідити інтенсивність світла, яке пройшло через систему, від кута повороту аналізатора. Дані вимірювань занести в таблицю №1. Вимірювання повторити 3 рази. По середнім значенням I_{max} та I_{min} знайти відношення напівосей еліпса.
6. Змінити положення слюдяної пластинки $\lambda/4$ ще на 10° - 15° , повторити всі вказівки пункту 5.
7. Після закінчення роботи вимкнути освітлювач.

Додаток

Таблиця № 1

Кут повороту аналізатора	I_1	I_2	I_3	$I_{\text{сер}}$
0				
10				
20				
·				
·				
·				
·				
180				

Таблиця № 2

Кут повороту аналізатора	I_1	I_2	I_3	$I_{\text{сер}}$	$\cos^2\alpha$	κ
0						
10						
20						
·						
·						
·						
·						
180						

$$\text{де } \kappa = \frac{I_{\text{сер}}}{I_{\text{сер max}}}$$

Контрольні запитання.

1. Пояснити структуру електромагнітної хвилі. Дати визначення звичайного та поляризованого світла.
2. Які існують типи поляризації світла? Як визначити степінь поляризації лінійно поляризованого світла?
3. Якими найпростішими методами можна отримати лінійно поляризоване світло?
4. Яка будова та принцип роботи поляризаційних призм і поляроїдів?
5. Як можна отримати та виявити еліптично і циркулярно поляризоване світло?

6. Якими методами можна визначити орієнтацію вектора E в лінійно поляризованому світлі ?

ЛІТЕРАТУРА

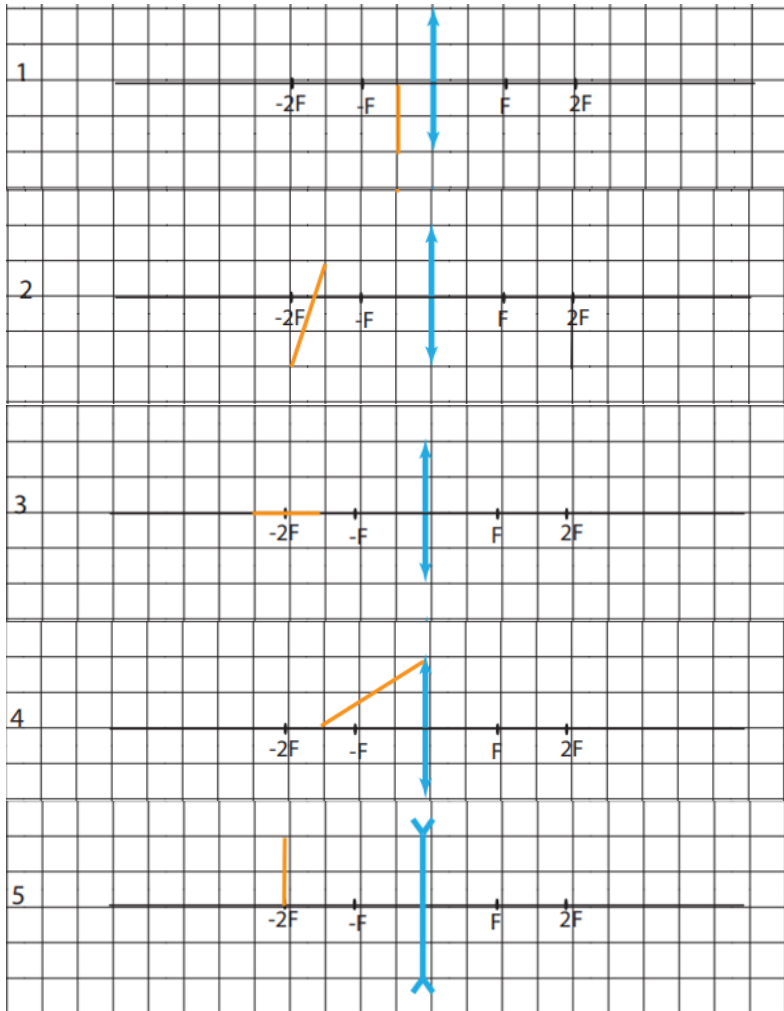
1. Ландсберг Г.С. Общий курс физики: оптика. Учебн. пособие: для вузов. – 6-е изд. стереот. - М: ФИЗМАЛИТ, 2003. – 848 с.
2. Физический практикум. Электричество и оптика. Под ред. В.И. Ивероной. – М.: Наука. 1968.
3. Романюк М.О. Оптика : підручник / М.О.Романюк, А.С.Крочук, І.П.Пашук; за ред. проф. М.О.Романюка. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка. 2012. – 564 с.
4. Зоммерфельд А. Оптика: пер. с нем. / А. Зоммерфельд. - М.: ИИЛ, 1953. - 486 с.
5. Кучерук І.М., Горбачук І.Т. Загальний курс фізики. - У 3 т. - Т. 3. Оптика. Квантова фізика: Навч. посіб. - К.: Техніка, 2006. - 518с.
6. Е.И.Бутиков. Оптика. – М.:Высшая школа, 1986.

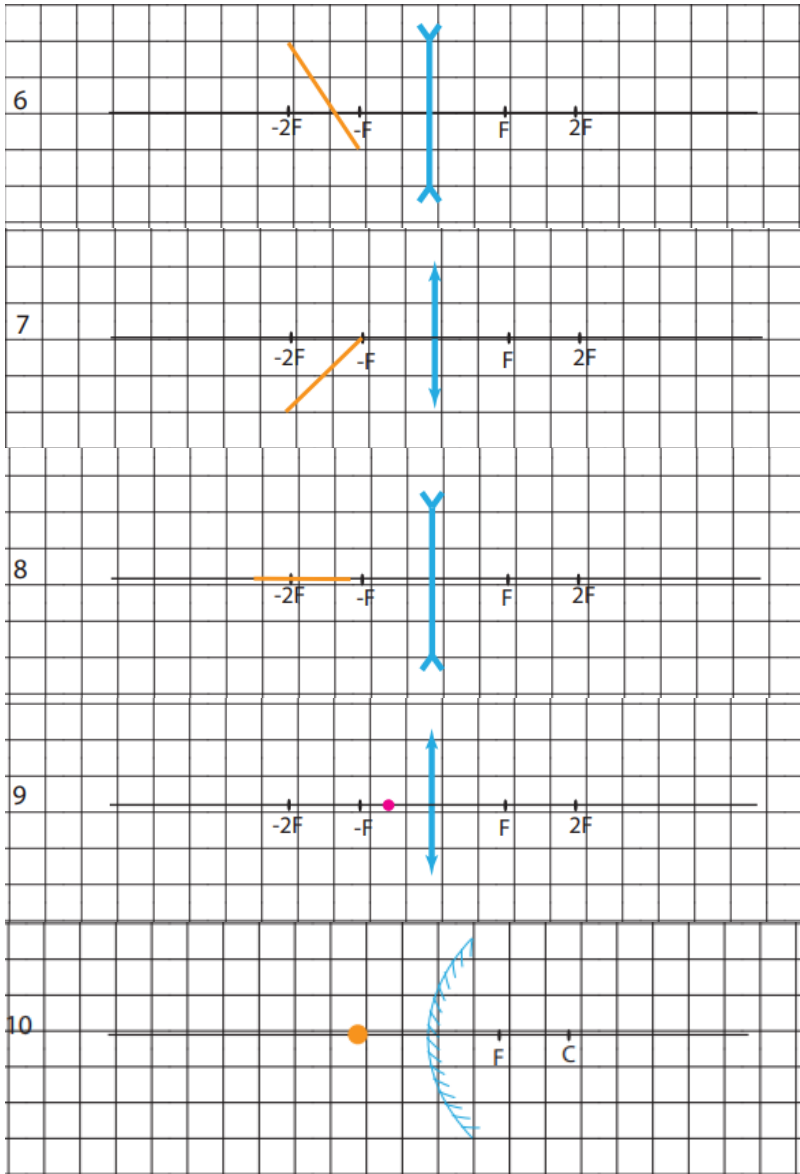
Розділ II

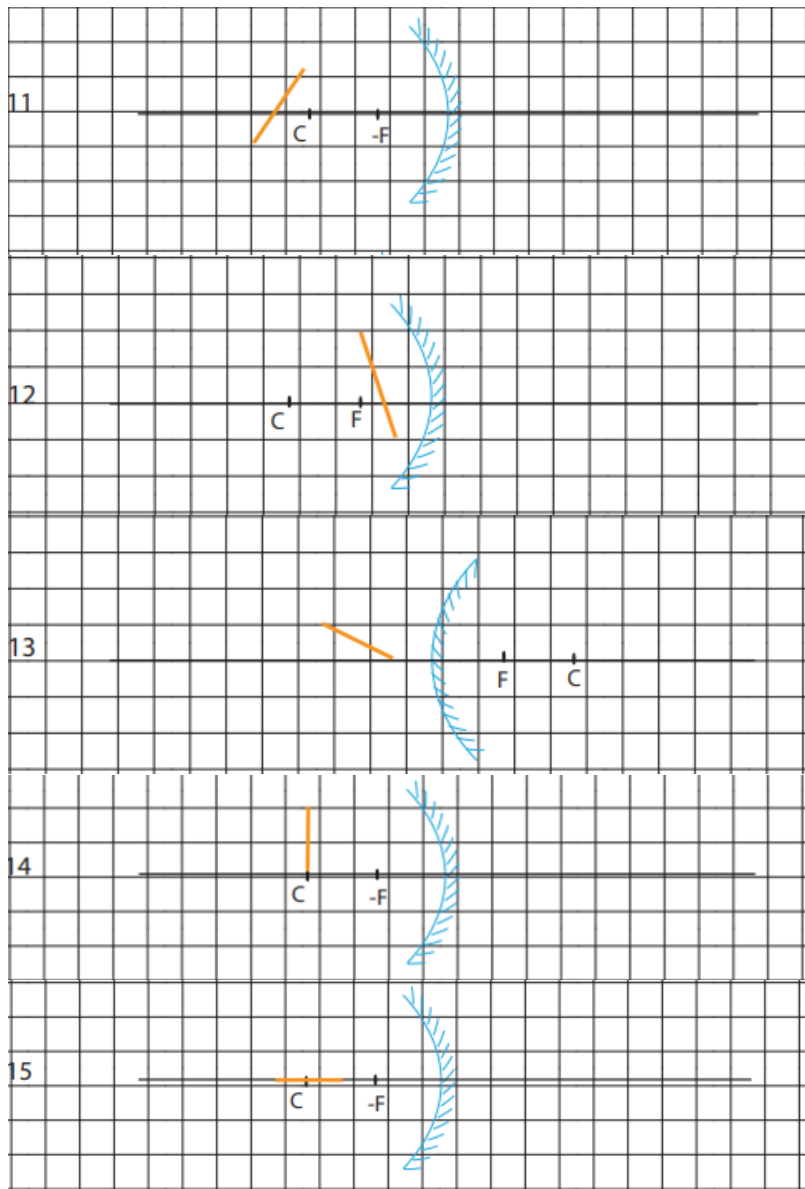
Задачі для самостійного виконання

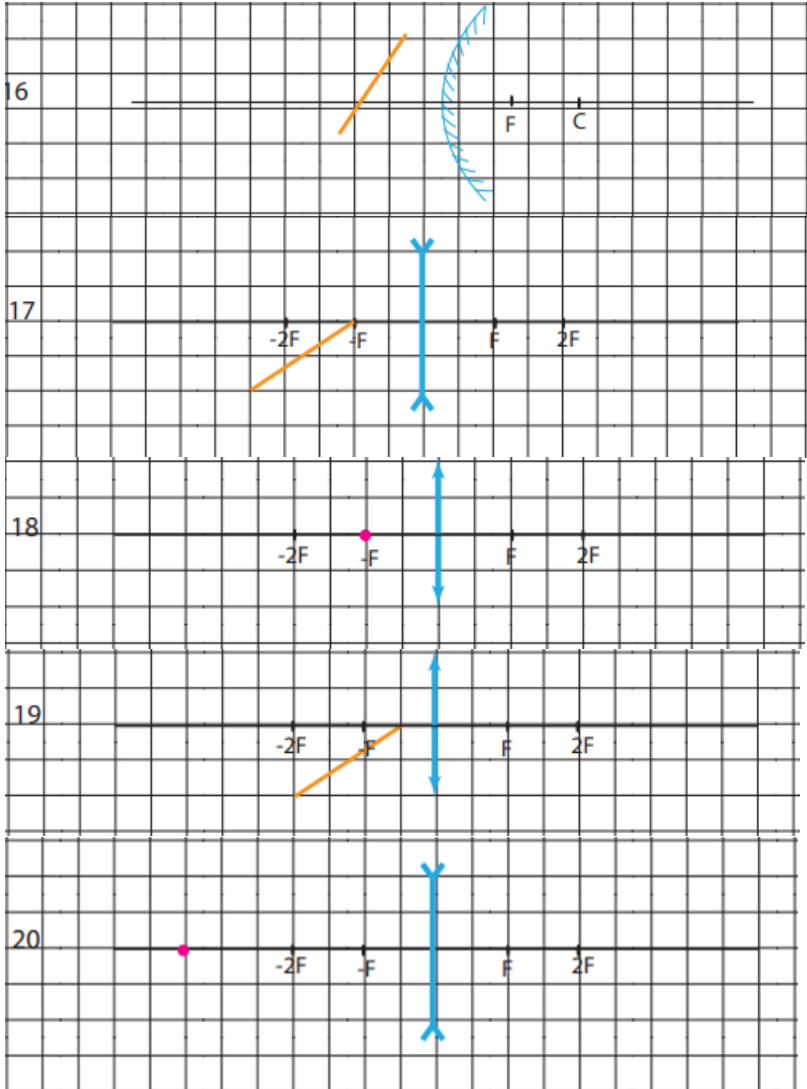
Геометрична оптика

1. Побудуйте зображення в наступних оптичних схемах:









2. Який граничний кут при падінні променя на границю розділу середовищ скло-вода?
3. У воді розповсюджуються два паралельних променя 1 та 2. Промінь 1 виходить у повітря безпосередньо, а промінь 2

проходить крізь горизонтальну плоскопаралельну скляну пластинку, яка лежить на поверхні води. 1) Чи будуть промені 1 та 2 паралельні при виході у повітря? 2) Чи вийде в повітря промінь 2, якщо промінь 1 зазнає повного внутрішнього відбивання?

4. Промінь, що падає на плоску межу двох середовищ (повітря-вода), частково відбивається, частково заломлюється. При якому куті падіння відбитий промінь є перпендикулярним до заломленого, якщо $n_{\text{вода}} = 1,33$?
5. Промінь світла переходить зі скла у воду. Кут падіння променя на поверхню розділу між склом і водою становить $i = 30^\circ$. Визначити кут заломлення. При якому найменшому значенні кута падіння промінь повністю відіб'ється?
6. Промінь світла падає на плоско паралельну скляну платівку під кутом $i = 60^\circ$. Якою є товщина платівки d , якщо при виході з неї промінь змістився на 20mm ? Показник заломлення скла $n_c = 1,5$
7. Промінь світла падає на плоску скляну платівку товщиною $d = 3\text{cm}$ під кутом $i = 70^\circ$. Визначити величину зміщення променя всередині платівки, якщо показник заломлення скла $n_c = 1,5$.
8. Взаємно перпендикулярні промені йдуть з повітря в рідину. Площина, в якій лежать промені, перпендикулярна до границі розділу повітря-рідина. Знайти показник заломлення рідини, якщо один промінь заломлюється під кутом 35° , а другий – під кутом 20° .
9. За допомогою збиральної лінзи отримують на екрані зображення свічки. Як зміниться це зображення, якщо лінзу закрити наполовину непрозорим екраном?

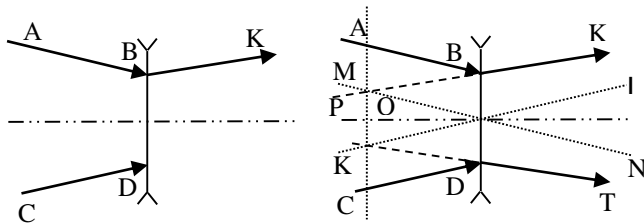
10. За допомогою лінзи, оптична вісь якої OO' , було отримано зображення В точки А. Де розміщена лінза, яка це лінза і де знаходяться її фокуси? (рис.)

• А



• В

11. Де на оптичній вісі повинно знаходитись точкове джерело світла, щоб ні з однієї точки неможливо було одночасно побачити джерело та його зображення?
12. Дано розсіювальну лінзу в якій задано положення головної оптичної осі. АВ – промінь, що падає на лінзу, ВК – цей же промінь, після заломлення в лінзі.
13. Побудувати хід променя CD, після заломлення в лінзі. (рис.)

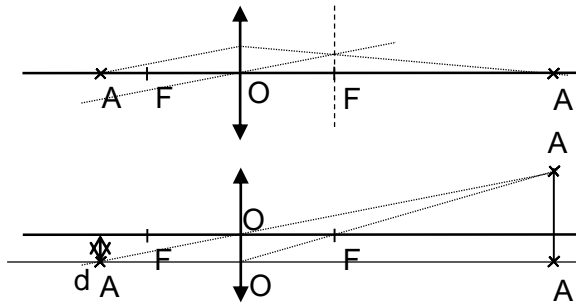


14. Побудувати і охарактеризувати зображення предмету, сформоване збиральною лінзою, якщо предмет знаходиться: 1) перед заднім фокусом; 2) у фокусі; 3) між першим і другим фокусами; 4) у другому фокусі; 5) за другим фокусом.

15. Побудувати і охарактеризувати зображення предмету, сформоване розсію вальною лінзою, якщо предмет знаходиться: 1) перед заднім фокусом; 2) у фокусі; 3) між першим і другим фокусами; 4) у другому фокусі; 5) за другим фокусом.
16. Побудувати і охарактеризувати зображення предмету, сформоване ввігнутих сферичним дзеркалом, якщо предмет знаходиться: 1) перед фокусом; 2) за фокусом.
17. Побудувати і охарактеризувати зображення олівця, один кінець якого знаходиться на оптичній осі у подвійному фокусі, а інший дотикається до оправ лінзи.
18. Як розмістити подвійноопуклу сферичну лінзу і сферичне ввігнуте дзеркало, щоб промені світла, що розповсюджуються від точкового джерела, розміщеного на спільній оптичній вісі лінзи і дзеркала, при проходженні крізь лінзу і відбившись від дзеркала, створювали зображення джерела в точці, де знаходиться саме джерело світла?
19. Фокусна віддаль збиральної лінзи $f=10$ см. На якій відстані a від лінзи потрібно розмістити предмет, щоб його уявне зображення отримувалось на відстані $b=25$ см від лінзи?
20. Фокусна віддаль лінзи $f=20$ см. Відстань від предмета до лінзи $a=10$ см. Визначити відстань b , якщо лінза: 1) збиральна; 2) розсіююча.
21. Відстань a від предмету до розсіюючої лінзи дорівнює фокусній віддалі f розсіюючої лінзи. Визначити відстань b від зображення до лінзи.
22. Збиральна лінза дає L на екрані зображення B точки A , що лежить на головній оптичній осі. Між лінзою L та екраном на відстані $b=20$ см від екрану розміщено розсію вальну лінзу M . Відсуваючи екран від розсію вальної лінзи, отримали нове зображення C точки A . При цьому, відстань нового положення

екрану від лінзи M виявилась рівною $a=60\text{ см}$. Визначити головну фокусну відстань f розсіюючої лінзи.

23. На екрані, що розміщений на відстані $b=60\text{ см}$ від збиральної лінзи, отримали зображення точкового джерела, що розміщене на головній оптичній осі. На яку відстань зміститься зображення на екрані, якщо при нерухомому джерелі перемістити лінзу в площині, перпендикулярній головній оптичній осі, на відстань $d=2\text{ см}$? Фокусна відстань лінзи 20 см .



24. Хлопчик, знявши окуляри, читав книгу, тримаючи її на відстані $l=16\text{ см}$ від очей. Якої оптичної сили у нього окуляри?
25. Визначити оптичну силу окулярів далекозорої людини, якщо відстань найкращого зору для неї становить 1 м , тоді як для здорової людини ця відстань - 25 см .
26. Збиральна лінза забезпечує дійсне зображення предмету, збільшене і 2 рази. Визначити фокусну відстань лінзи, якщо відстань між лінзою та зображенням предмету дорівнює 24 см .
27. Вздовж головної оптичної осі тонкої збиральної лінзи з фокусною відстанню $F=12\text{ см}$ розміщено предмет один

кінець якого знаходиться на відстані $a_1 = 17,9\text{cm}$ від лінзи, а другий - $a_2 = 18,1\text{cm}$. Знайти поперечне збільшення зображення k .

28. Висота зображення предмету на плівці у фотоапараті при зйомці на відстані $d_1 = 2\text{m}$ рівна $h_1 = 30\text{mm}$, а при зйомці на відстані $d_2 = 3,9\text{m}$ - $h_2 = 15\text{mm}$. Знайти фокусну відстань об'єктиву фотоапарату.

29. Фокусна віддаль збиральної лінзи в дорівнює $f = 10\text{cm}$. Чому вона дорівнює у воді ($n = 1,33$)? В коричній олії ($n = 1,60$)? (якщо показник заломлення скла $n = 1,5$).

30. Фокусна віддаль лінзи в повітрі $f_1 = 5\text{cm}$. Фокусна віддаль тієї ж лінзи, зануреної в розчин цукру, $f_2 = 35\text{cm}$. Визначити показник заломлення розчину.

31. Лінза виготовлена зі скла, показник заломлення якого для червоних променів $n_r = 1,50$, для фіолетових $n_f = 1,52$. Радіуси кривизни R обох поверхонь лінзи однакові і рівні 1 м. Визначити відстань між фокусами червоних і фіолетових променів.

32. Тонка лінза з оптичною силою $D = 5$ дптр. в повітрі занурена в рідину. При цьому її оптична сила змінилась і дорівнює $D' = -1$ дптр. Знайти показник заломлення рідини, якщо показник заломлення скла $n = 1,5$.

33. Лупа, яка представляє собою подвійноопуклу лінзу, виготовлена зі скла з показником заломлення $n = 1,6$. Радіуси

кривизни R поверхонь лінзи однакові і дорівнюють 12 см. Визначити збільшення лупи.

34. Знайти фокусну відстань кварцової лінзи для ультрафіолетової лінії спектру ртуті $\lambda = 259nm$, якщо фокусна відстань для жовтої лінії натрію $\lambda = 589nm$ рівна $F = 16cm$. Показники заломлення становлять $n_1 = 1,504$ та $n_2 = 1,458$ для спектру ртуті та натрію, відповідно.

Інтерференція

1. В точку A екрану від джерела S_1 монохроматичного світла довжиною хвилі $\lambda = 0,5$ мкм, надходять два променя: безпосередньо від джерела перпендикулярний екрану промінь S_1A та промінь S_1BA , відбитий в точці B від дзеркала, паралельного променю S_1A . Відстань від екрану до джерела дорівнює $l_1 = 1$ м, відстань h від променя S_1A до площини дзеркала дорівнює 2 мм. Визначити: 1) що буде спостерігатись в точці A екрану – підсилення чи послаблення освітленості; 2) як зміниться освітленість в точці A , якщо на шляху променя A перпендикулярно до нього розмістити плоско паралельну пластинку зі скла ($n = 1,55$) товщиною $d = 6$ мкм.
2. Різниця ходу двох інтерферуючих променів монохроматичного світла $\Delta = 0,3\lambda$. Визначити різницю фаз коливань.
3. На товсту скляну платівку, вкриту дуже тонкою плівкою, коефіцієнт заломлення речовини якої дорівнює 1,4, падає нормально паралельний пучок променів монохроматичного

- світла ($\lambda = 0,6$ мкм). Відбите світло максимально послаблене внаслідок інтерференції. Визначити товщину плівки.
4. На мильну плівку ($n = 1,3$) падає нормально пучок променів білого світла. Яка найменша товщина плівки, якщо у відбитому світлі вона здається зеленою ($\lambda = 0,55$ мкм)?
 5. Визначити зміщення дзеркала в інтерферометрі Майкельсона, якщо інтерференційна картина змістилась на $m = 100$ смуг.
Дослід проводився зі світлом з довжиною хвилі $\lambda = 5460 \text{ \AA}$.
 6. На скляний клин нормально до його поверхні падає монохроматичне світло з довжиною хвилі 0,6 мкм. Кількість інтерференційних смуг на 1 см, рівна 10. Визначити заломлюючий кут клину.
 7. Діаметри двох світлих кілець Ньютона $d_i = 4,0$ і $d_k = 4,8$ мм. Порядкові номери кілець не визначались, але відомо, що між двома вимірними кільцями розташовано три світлих кільця. Кільця спостерігались у відбитому світлі ($\lambda = 500$ нм). Знайти радіус кривизни плоско-опуклої лінзи, що взята для досліду.
 8. Плоско-опукла лінза з оптичною силою $D = 2$ дптр. опуклою стороною лежить на скляній платівці. Радіус 4-го темного кільця Ньютона у світлі, що проходить дорівнює $r_4 = 0,7$ мм. Визначити довжину хвилі світла, в якій проводиться дослід.
 9. Переконатись, що для отримання інтерференційної картини з шириною смуги $\Delta x = 0,5$ мм, при розмірах установки з біпризмою Френеля $a = 50$ см, $b = 100$ см, заломлюючий кут біпризми θ повинен бути досить малим. Якщо враховувати, що показник заломлення скла $n = 1,5$ і $\lambda = 0,5$ мкм.

10. Нехай фокусна відстань білінзи Бйє $f = 400$ мм і діаметр $D = 50$ мм. Товщина віддаленого шару $\delta = 1$ мм, довжина хвилі, в якій проводиться дослід $\lambda = 0,5$ мкм. Щілина знаходиться у фокальній площині білінзи. Визначити ширину інтерференційної смуги Δx , відстань b , на якій кількість смуг може бути максимальною і значення N_{\max} .
11. Відстань між двома щілинами в досліді Юнга $d = 1$ мм, відстань від щілин до екрану $l = 3$ м, відстань між максимумами яскравості сусідніх інтерференційних смуг на екрані $\Delta x = 1,5$ мм. Визначити довжину хвилі джерела монохроматичного світла, що береться для досліді.
12. Відстань між двома когерентними джерелами ($\lambda = 0,5$ мкм) рівна $d = 0,1$ мм. Відстань між світлими смугами на екрані в середній частині інтерференційної картини рівна $\Delta x = 1$ см. Визначити відстань від джерела до екрану.
13. Плоска хвиля падає на біджеркала Френеля, кут між якими становить $2'$. Визначити довжину світлової хвилі, якщо ширина інтерференційної смуги $\Delta x = 0,55$ мм.
14. Відстань від біпризми Френеля до вузької щілини і екрану рівні $a = 25$ см і $b = 100$ см, відповідно. Біпризма скляна із заломлюючим кутом $\theta = 20'$. Знайти довжину світлової хвилі λ , якщо ширина інтерференційної смуги на екрані $\Delta x = 0,55$ мм.
15. Знайти радіус 5-го світлого кільця Ньютона, якщо радіус кривизни опуклої поверхні лінзи $R = 16$ см і її контакт з плоскою поверхнею скла ідеальний (в точці). Довжина хвилі світла $\lambda = 0,5$ мкм.

16. Плоско-опукла лінза, радіус кривизни сферичної поверхні якої $R = 60$ мм, дотикається до скляної пластинки. Оцінити радіус інтерференційної картини, що спостерігається у відбитому світлі, якщо довжина хвилі світла $\lambda = 0,6$ мкм і $\Delta\lambda = 0,06$ мкм. Вважати, що світло падає практично нормально.
17. В двопроменевому інтерферометрі використовується деяка спектральна лінія, що складається з двох близьких компонент з $\lambda_1 = 577$ нм і $\lambda_2 = 579$ нм. За якого найменшого порядку інтерференції видність картини буде найгіршою?
18. В інтерферометрі Майкельсона використовують жовту лінію натрію, що складається з двох компонент з $\lambda_1 = 589$ нм і $\lambda_2 = 589,6$ нм. При зміщенні одного з дзеркал, інтерференційна картина періодично зникає. Знайти величину зміщення дзеркала за якої послідовно з'являються найбільш чіткі інтерференційні картини.

Дифракція

1. На круглий отвір радіусом 1 мм в непрозорому екрані падає нормально паралельний пучок світла довжиною хвилі 0,5 мкм. На шляху променів, що пройшли крізь отвір, розміщено екран. Визначити максимальну відстань від отвору до екрану, при якій в центрі дифракційної картини ще буде спостерігатись темна пляма.

2. Визначити радіус п'ятидесятої зони Френеля для плоского хвильового фронту ($\lambda = 0,5$ мкм), якщо побудова виконується для точки спостереження, що знаходиться на відстані $R_0 = 1$ м від фронту хвилі.

3. На круглий отвір діаметром $d = 4$ мм падає нормально паралельний пучок променів ($\lambda = 0,6$ мкм). Точка спостереження знаходиться на відстані $R_0 = 1$ м від нього. Скільки зон Френеля поміщається в отвір? Темна чи світла пляма отримується в центрі дифракційної картини, якщо в місці спостереження помістити екран?

4. На круглий отвір радіусом 1 мм нормально падає плоска хвиля монохроматичного світла $\lambda = 0,5$ мкм. Визначити число зон Френеля, що вкладаються в цей отвір, для точки спостереження, розміщеній на вісі отвору на відстані 80 см.

5. Точкове монохроматичне джерело світла ($\lambda = 0,5$ мкм) розташоване на відстані 0,5 мм від плоского екрану з круглим отвором діаметром $d = 0,5$ мм на перпендикулярі до площини екрану, що проходить крізь центр отвору. На якій максимальній відстані від отвору на перпендикулярі розташована точка максимальної освітленості?

6. На шляху плоскої світлової хвилі з $\lambda = 0,54$ мкм поставлено тонку збиральну лінзу із фокусною відстанню $f = 50$ см, безпосередньо за нею – діафрагму із круглим отвором і на відстані $b = 75$ см від діафрагми – екран. За яких радіусів отвору центр дифракційної картини на екрані має максимальну освітленість?

7. Точкове джерело монохроматичного світла розміщене перед зонною пластинкою Френеля на відстані $a = 1,5$ м від неї. Зображення джерела утворюється на відстані $b = 1$ м від пластинки. Знайти фокусну відстань зонної пластинки.

8. Оцінити дифракційну розбіжність «паралельного» лазерного пучка з вихідним діаметром $D_0 = 2$ мм на відстані 100 м від лазера, якщо $\lambda = 0,6$ мкм.

9. З'ясуйте з яким видом дифракції (Френля чи Фраунгофера) проводиться дослід, якщо паралельний пучок світла з $\lambda = 0,6$ мкм падає нормально на круглий отвір діаметром $D = 1$ мм, утворюючи дифракційну картину на екрані, що знаходиться на відстані 50 см від отвору.

10. Плоска монохроматична хвиля падає нормально на круглий отвір. На відстані $b = 9$ м від нього знаходиться екран, де спостерігають дифракційну картину. Діаметр отвору зменшили в $\eta = 3$ рази. Знайти нову відстань b' , на якій потрібно розмістити екран, щоб отримати на ньому дифракційну картину, подібну тій, що і у попередньому досліді, але зменшену в η раз.

11. На щілину шириною 0,1 мм нормально падає паралельний пучок світла від монохроматичного джерела ($\lambda = 0,6$ мкм). Визначити ширину центрального максимуму в дифракційній картині, що проектується за допомогою лінзи, яка знаходиться безпосередньо за щілиною, на екран, який віднесено від лінзи на відстань $L = 1$ м.

12. На щілину шириною $a = 0,05$ мм падає нормально монохроматичне світло ($\lambda = 0,6$ мкм). Визначити кут між початковим напрямком променів і напрямком на четверту темну смугу.

13. Світло довжиною хвилі $\lambda = 0,5$ мкм падає на щілину шириною $b = 10$ мкм під кутом $\vartheta = 30^\circ$ до її нормалі. Знайти кутові положення перших мінімумів, розташованих по обидва боки центрального фраунгоферового максимуму.

14. На дифракційну ґратку нормально до її поверхні падає паралельний пучок променів з довжиною хвилі $\lambda = 0,6$ мкм. Розміщена поблизу ґратки лінза проектує дифракційну картину

на плоский екран, віддалений від лінзи на $L = 1$ м. Відстань між двома максимумами першого порядку, що спостерігаються на екрані, $l = 20,2$ см. Визначити: 1) постійну дифракційної ґратки; 2) кількість штрихів на один см; 3) скільки максимумів дає при цьому дифракційна ґратка; 4) максимальний кут відхилення променів, що відповідає останньому дифракційному максимуму.

15. Скільки штрихів на кожен міліметр містить дифракційна ґратка, якщо при спостереженні в монохроматичному світлі ($\lambda = 0,6$ мкм) максимум п'ятого порядку відхиляється на кут $\varphi = 18^\circ$?

16. Дифракційна ґратка, що освітлена нормально падаючим монохроматичним світлом, відхиляє спектр другого порядку на кут $\varphi = 14^\circ$. На який кут відхиляє вона спектр третього порядку?

17. Дифракційна ґратка містить $n = 200$ штрихів/мм. На ґратку падає нормально монохроматичне світло ($\lambda = 0,6$ мкм). Максимум якого найбільшого порядку дає ця ґратка?

18. На дифракційну ґратку, що містить $n = 400$ штрихів/мм, падає нормально монохроматичне світло ($\lambda = 0,6$ мкм). Знайти загальну кількість дифракційних максимумів, які дає ґратка. Визначити кут відхилення останнього максимуму.

19. Світло $\lambda = 535$ нм падає нормально на прозору дифракційну ґратку. Знайти її період, якщо один із фраунгоферових максимумів виникає під кутом $\varphi_m = 35^\circ$, а найбільший порядок максимуму при цьому дорівнює 5.

20. При падінні на дві щілини, які розміщені на відстані 0,0026 мм одна від одної, монохроматичне світло утворює смугу

четвертого порядку під кутом $\varphi = 6,4^\circ$. Чому дорівнює довжина хвилі падаючого світла?

21. Спектр отримано за допомогою дифракційної ґратки з періодом 22 мкм. Дифракційне зображення другого порядку знаходиться на відстані 5 см від центрального максимуму і на відстані 1 м від ґратки. Визначити довжину хвилі падаючого світла.

22. Світло з $\lambda = 530$ нм падає на прозору дифракційну ґратку з періодом $d = 1,5$ мкм. Знайти кут дифракції, під яким спостерігається максимум найбільшого порядку, якщо світло падає на ґратку: а) нормально; б) під кутом $\varphi_0 = 60^\circ$ до нормалі.

23. Знайти співвідношення періоду ґратки до ширини щілини, d/b , за якого пропадає головний максимум 3-го порядку.

24. За нормального падіння світла на дифракційну ґратку, кут дифракції для лінії $\lambda_1 = 0,65$ мкм в другому порядку дорівнює 45° . Знайти кут дифракції для лінії $\lambda_2 = 0,5$ мкм в третьому порядку.

25. Світло з довжиною хвилі $\lambda = 600$ нм падає нормально на дифракційну ґратку, яка нанесена на плоску поверхню плоскоопуклої циліндричної скляної лінзи з радіусом кривизни $R = 20$ см. Період ґратки $d = 6$ мкм. Знайти відстань між симетрично розташованими головними максимумами першого порядку в фокальній площині цієї лінзи.

26. За нормального падіння світла на прозору дифракційну ґратку шириною 10 мм виявлено, що компоненти жовтої лінії натрію (589,0 та 589,6 нм) виявляються розділеними, починаючи із п'ятого порядку спектру. Оцінити: а) період цієї ґратки; б) за якої ширини ґратки з таким самим періодом можна розділити в

третьому порядку дублет спектральної лінії з $\lambda = 460$ нм, компоненти якого відрізняються на 0,13 нм.

27. Світло, що містить дві спектральні лінії однакової інтенсивності з $\lambda_1 = 600$ нм і $\lambda_2 = 600,05$ нм, падає на ґратку шириною 10 мм. Знайти кут дифракції, під яким ці лінії виявляються на межі розділення (відповідно до критерію Релея).

Поляризація

1. Природній промінь світла падає на поліровану поверхню скляної пластини, що занурена в рідину. Відбите від пластини промінь складає кут $\varphi = 97^\circ$ з падаючим променем. Визначити показник заломлення рідини, якщо відбите світло максимально поляризоване.

2. Промінь світла, що розповсюджується в повітрі, падає на поверхню рідини під кутом 54° . Визначити кут заломлення променя, якщо відбитий промінь максимально поляризований.

3. На якій кутовій висоті над обрієм повинно знаходитись Сонце, щоб сонячне світло, відбите від поверхні води було максимально поляризоване?

4. Промінь світла, що розповсюджується в повітрі, відбивається від грані алмазу ($n = 2,42$), зануреного у воду ($n = 1,33$). При якому куті падіння відбите світло максимально поляризоване?

5. Граничний кут повного внутрішнього відбивання променя на межі рідини з повітрям дорівнює 43° . Яким має бути кут падіння променя з повітря на поверхню рідини, щоб відбитий промінь був максимально поляризований?

6. Два ніколя N_1 та N_2 розміщено так, що кут між площинами коливань складає 60° . 1) У скільки разів зменшиться інтенсивність світла при проходженні крізь один ніколь (N_1)? 2) У скільки разів зменшиться інтенсивність світла при проходженні крізь два ніколя? (При проходженні кожного ніколя втрати на відбивання і поглинання світла складають 5%.)

7. Аналізатор в два рази зменшує інтенсивність світла, що проходить до нього від поляризатора. Визначити кут між головними площинами поляризатора і аналізатора. Втрати світла можна знехтувати.

8. Кут між головними площинами поляризатора і аналізатора дорівнює 45° . У скільки разів зменшиться інтенсивність світла, що виходить з аналізатора, якщо кут збільшити до 60° ?

9. У скільки разів послабиться світло, проходячи крізь два ніколя, площини поляризацій яких складають кут 30° , якщо в кожному з ніколів втрачається 10% падаючого на нього потоку світла?

10. За якого значення кута падіння пучок, відбитий від поверхні діелектрика буде перпендикулярним до заломленого, якщо показник заломлення діелектрика n ?

11. На систему, що складається з двох поляризаторів, площини пропускання яких повернуті одна відносно одної на кут φ , падає природне світло інтенсивності I_0 . Нехтуючи відбиванням, знайти інтенсивність світла, що проймо крізь цю систему.

12. Природне світло падає під кутом Брюстера на поверхню прозорої плоскопаралельної пластинки. Довести, що заломлене світло падає на задню поверхню цієї пластинки теж під кутом Брюстера.

13. На поверхню прозорого діелектрика з показником заломлення n падає під кутом Брюстера лінійно поляризоване світло, площина поляризації якого: а) перпендикулярна площині падіння; б) лежить в площині падіння. Знайти коефіцієнт відбивання в обох випадках.

14. На шляху частково-поляризованого світла розміщено поляризатор. При повороті площини пропускання поляризатора із положення, що відповідає максимуму пропускання на кут φ , інтенсивність світла, що пройшло, зменшилась в η раз. Знайти ступінь поляризації падаючого світла.

15. Визначити за допомогою формул Френеля коефіцієнт відбивання природного світла за нормального падіння на поверхню прозорого діелектрика з показником заломлення n .

16. За допомогою формул Френеля знайти коефіцієнт відбивання природного світла, що падає під кутом Брюстера на прозорий діелектрик з показником заломлення n .

17. Природне світло падає під кутом Брюстера на пластинку з показником заломлення $n = 1,65$. Знайти коефіцієнт відбивання.

18. Дві пластинки вирізані паралельно оптичній осі: одна пластинка – з ісландського шпату товщиною $h = 1$ мм, інша – з кварцу. Знайти товщину кварцової пластинки h' , щоб для світла $\lambda = 0,55$ мкм вона мала ту ж саму різницю ходу Δ звичайного і незвичайного пучків, що й пластинка зі шпату. В чому буде їх відмінність? (ісландський шпат: $n_o = 1,66$, $n_e = 1,49$; кварц: $n_o = 1,545$, $n_e = 1,554$).

19. Кварцова пластинка, вирізана паралельно до оптичної осі, має товщину $h = 0,25$ мм, є пластинкою $\lambda/4$ для світла з

$\lambda = 0,53$ мкм. Для яких ще довжин хвиль в області видимого спектру вона буде також $\lambda/4$? (Вважати, що для усіх довжин хвиль видимого спектру $n_e - n_o = 0,9 \cdot 10^{-2}$).

20.Світло проходить крізь систему із двох схрещених поляризаторів, між якими розміщено кварцову пластинку. Її оптична вісь складає кут 45° із площиною пропускання поляризаторів. За якої мінімальної товщини пластинки, світло з $\lambda_1 = 643$ нм буде проходити крізь цю систему з максимальною інтенсивністю, а з $\lambda_2 = 564$ нм майже гаситись, якщо для обох довжин хвиль $n_e - n_o = 0,009$?

Розділ III

Тестові завдання

Перший рівень складності

1.1. Як називається розділ фізичної оптики, що вивчає сукупність явищ, в яких проявляється хвильова природа світла?

1. хвильова оптика
2. геометрична оптика
3. квантова оптика
4. немає правильної відповіді

1.2. Як називається розділ фізичної оптики, в якому розглядаються енергетичні характеристики оптичного випромінювання в процесах його випускання, поширення і взаємодії з речовиною?

1. нелінійна оптика
2. фотометрія
3. оптика анізотропних середовищ
4. кристалооптика

1.3. Як називається особлива хвильова фізика, зведена в ранг теорії, що встановлює спосіб опису і закони руху мікрочастинок і їх систем?

1. молекулярна фізика
2. оптика
3. квантова механіка
4. електрика

1.4. Назвіть прізвище вченого, послідовна теорія єдиного електромагнітного поля якого розкриває хвильову природу світла.

1. Максвелл
2. Ферма
3. Майкельсон
4. Френель

1.5. Назвіть прізвище вченого, якому належить заслуга в поясненні принципу поширення світла в неоднорідному середовищі.

1. Максвелл

2. Ферма
3. Майкельсон
4. Френель

1.6. Як називається основна розмірна фізична величина системи СІ, яка вивчається в курсі оптики?

1. сила світла
2. електромагнітна сила
3. довжина
4. маса

1.7. Назвіть одиницю вимірювання освітленості поверхні (у міжнародній системі СІ).

1. кандела
2. люкс
3. моль
4. люмен

1.8. Який вчений дав детальний опис явища дифракції в променях, що сходяться, що отримало назву зонної теорії?

1. Максвелл
2. Ферма
3. Майкельсон
4. Френель

1.9. Який вчений дав детальний опис явища дифракції в паралельних променях, застосоване потім до дифракційну решітку?

1. Фраунгофер
2. Ферма
3. Майкельсон
4. Френель

1.10. Назвіть прізвище вченого, який встановив зв'язок інтенсивності поляризованого світла на вході і виході з одноосного кристала.

1. Фраунгофер

2. Ферма
3. Майкельсон
4. Малюс

1.11. Як називається розділ фізичної оптики, що вивчає закони поширення оптичного випромінювання на основі подання про світлові промені?

1. геометрична оптика
2. хвильова оптика
3. квантова оптика
4. немає правильної відповіді

1.12. Як називається розділ фізичної оптики, який розглядає електромагнітне випромінювання, що випускається речовиною і виникає за рахунок його внутрішньої енергії?

1. геометрична оптика
2. хвильова оптика
3. квантова оптика
4. теплове випромінювання

1.13. Як називається розділ фізичної оптики, що вивчає явища, в яких видно квантова природа світла, а світло представимо у вигляді елементарних частинок, фотонів?

1. геометрична оптика
2. хвильова оптика
3. квантова оптика
4. теплове випромінювання

1.14. Як в хвильовій оптиці називають вектор електричної напруженості електромагнітного поля світлової хвилі?

1. світловий вектор
2. вектор Умова-Пойтінга
3. інтенсивність
4. хвильове число

1.15. Як в хвильовій оптиці називають вектор щільності потоку енергії, яку переносять світловою хвилею?

1. світловий вектор

2. вектор Умова-Пойтінга
3. інтенсивність
4. хвильове число

1.16. Як в хвильовій оптиці одним словом називається скалярна фізична величина, що чисельно дорівнює енергії, яка переноситься світловою хвилею за одиницю часу через одиничну площу, розташовану перпендикулярно до напрямку поширення хвилі?

1. сила світла
2. інтенсивність
3. параметри Стокса
4. світловий потік

1.17. Назвіть прізвище вченого, який встановив зв'язок між груповою та фазовою швидкостями світла.

1. Релей
2. Ферма
3. Майкельсон
4. Френель

1.18. Як в хвильовій оптиці називається одним словом явище накладення когерентних хвиль за умов відсутності перпендикулярності коливань світових векторів і наявності оптичної різниці ходу хвиль, меншої довжини когерентності?

1. інтерференція
2. дифракція
1. дисперсія
3. поглинання

1.19. Назвіть прізвище вченого, який першим в 1801 році здійснив інтерференційний дослід, який пояснювався хвильовою теорією світла.

1. Юнг
2. Релей
3. Гюйгенс
4. Френель

1.20. Вкажіть кількість способів створення когерентних (нелазерних) світлових пучків в хвильовій оптиці.

1. один
2. два
3. жодного
4. безліч

1.21. Назвіть принцип, що лежить в основі детального пояснення явища дифракції світла, розроблений Френелем.

1. принцип Ферма
2. принцип Гюйгенса
3. принцип Гюйгенса-Френеля
4. принцип Релея

1.22. Як називається теорія, автором якої є Френель, і в основі якої лежить інтерференція еквівалентних джерелу вторинних когерентних хвиль?

1. зонна теорія
2. електромагнітна теорія
3. теорія Френеля
4. теорія Гюйгенса

1.23. Під якою назвою в історію фізики увійшла дифракція світла на круглomu диску (кульці), яка завжди характеризується в центрі картини інтерференційним максимумом?

1. кільця Ньютона
2. пляма Пуассона
3. спіраль Корню
4. немає правильної відповіді

1.24. Вкажіть прізвище вченого, який розвинув математичні основи теорії дифракції наприкінці XIX століття, що застосовуються і сьогодні.

1. Кірхгоф
2. Ферма
3. Майкельсон
4. Френель

1.25. Вчений, критерій якого покладений в основу дозволу двох близьколежачих спектральних ліній з рівними інтенсивностями і симетричними контурами.

1. Релей
2. Ферма
3. Майкельсон
4. Френель

1.26. Фізична характеристика оптичного випромінювання, що описує нееквівалентність різних коливань світлового вектора в площині, перпендикулярній світловому променю, і зводиться до виділення лінійно поляризованого світла з природного.

1. поляризація
2. інтенсивність
3. потужність
4. когерентність

1.27. Напрямок в оптично анізотропному кристалі, вздовж якого світло поширюється, та не зазнає подвійного променезаломлення.

1. вісь кристала
2. оптична вісь
3. всі напрямки
4. вісь анізотропії

1.28. Вчений, який пояснив обертання площини поляризації світла за допомогою теорії кругового двоприменезаломлення.

1. Юнг
2. Ферма
3. Майкельсон
4. Френель

1.29. Вчений, автор молекулярної класичної теорії оптичної активності речовин.

1. Борн
2. Ферма
3. Майкельсон
4. Френель

1.30. Шотландський фізик, ім'ям якого названо поляризаційний прилад, що працює на основі явища двопроменезаломлення.

1. Борн
2. Ферма
3. Майкельсон
4. Ніколь

1.31. Вчений, вперше висловив думку про те, що поширення світла відбувається дискретно, порціями.

1. Ейнштейн
2. Ніколь
3. Борн
4. Ферма

1.32. Вчений, вперше досліджував закони зовнішнього фотоефекту.

1. Столетов
2. Ейнштейн
3. Ніколь
4. Борн

1.33. Вчений, вперше який пояснив закони зовнішнього фотоефекту з квантових позицій.

1. Ейнштейн
2. Ніколь
3. Борн
4. Ферма

1.34. Дисперсія світла на скляній призмі дозволяє розкласти світловий пучок на спектральні складові, які поширюються під різними кутами до початкового напрямку. При цьому найшвидше рухається

1. червона світлова хвиля
2. зелена світлова хвиля
3. фіолетова світлова хвиля
4. всі світлові хвилі поширюються з однаковою швидкістю

1.35. Дисперсія світла на скляній призмі дозволяє розкласти світловий пучок на спектральні складові, які поширюються під різними кутами до початкового напрямку. При цьому повільніше інших рухається:

1. червона світлова хвиля
2. зелена світлова хвиля
3. фіолетова світлова хвиля
4. всі світлові хвилі поширюються з однаковою швидкістю

1.36. Вода освітлена зеленим світлом, для якого довжина хвилі в повітрі 0,5 мкм. Якою буде довжина хвилі у воді?

1. 450 нм
2. 0.38 мкм
3. 0.5 мкм
4. 750 нм

1.37. Плівку гасу на поверхні води в освітлюють пучком паралельних променів природного світла. У відбитому світлі плівка має райдужне забарвлення. Чи однакова товщина плівки по всій поверхні?

1. однакова
2. не однакова
3. відповідь залежить від кута падіння
4. відповідь залежить від товщини плівки

1.38. Чи можна спостерігати явище повного внутрішнього відображення при переході світла з рубіна в алмаз? Показник заломлення алмазу 2,42, рубіна 2,4.

1. так
2. ні
3. відповідь залежить від кута падіння
4. відповідь залежить від товщини алмазу

1.39. Масляну плівку на поверхні води освітлюють білим світлом. У відбитому світлі плівка має забарвлення одного кольору на всій поверхні. Чи однакова товщина плівки?

1. однакова
2. не однакова

3. відповідь залежить від кута падіння
4. відповідь залежить від товщини плівки

1.40. Фазова швидкість хвилі

1. може бути більша за швидкість світла
2. в точності дорівнює швидкості світла
3. завжди менше швидкості світла
4. немає правильної відповіді

1.41. Яке з перерахованих нижче явищ немає місця при проходженні світла через дифракційну ґратку:

1. розкладання білого світла в спектр
2. зміна частоти світлової хвилі
3. просторовий перерозподіл енергії світлової хвилі і яскравості дифракційних максимумів і мінімумів
4. накладання один на одного спектрів різних порядків при проходженні білого світла через дифракційну ґратку

Другий рівень складності

2.1. Відстані від біпризми Френеля до вузької щілини і екрану рівні відповідно $a = 25$ см і $b = 100$ см. Біпризма скляна із заломлюючим кутом $\theta = 20^\circ$. Знайти довжину хвилі світла, якщо ширина інтерференційної смуги на екрані $\Delta x = 0,55$ мм.

1. $0,6 \times 10^{-6}$ м
2. 0,005 м
3. 7×10^{-6} м
4. 3×10^{-6} м

2.2. Пучок природного світла падає на систему Ніколя з $N = 6$, площина пропускання кожного з яких повернута на кут $\varphi = 30^\circ$ відносно площини пропускання попереднього . Яка частина світлового потоку проходить через цю систему?

1. $\varphi = 20^\circ$
2. $\varphi = 30^\circ$
3. $\varphi = 0^\circ$
4. $\varphi = 10^\circ$

2.3. На дифракційну ґратку перпендикулярно падає світло з довжиною хвилі 500 нм. Скільки штрихів на 1 мм повинна мати ґратка, щоб п'ятий головний максимум у дифракційній картині перебував під кутом 90° по відношенню до падаючого світла?

1. 200
2. 100
3. 400
4. 350

2.4. Дифракційна ґратка шириною 4 см має 2000 штрихів і опромінюється нормально падаючим монохроматичним світлом. На екрані, віддаленому на відстань 50 см, максимум другого порядку віддалений від центрального на 3,35 см. Знайти довжину хвилі світла.

1. 0.560 мкм
2. 500 нм
3. 600 нм
4. 0.67 мкм

2.5. Ступінь поляризації частково поляризованого світла $P = 0,25$. Знайти відношення інтенсивності поляризованої складової цього світла до інтенсивності природної складової.

1. $K=1$
2. $K=2,3$
3. $K=0,333$
4. $K=0,5$

2.6. Швидкість поширення світла в алмазі 124000 км / с. Визначте показник заломлення алмазу.

1. 2.6
2. 2.2
3. 2.4
4. 2.5

2.7. Вертикальну мильну плівку спостерігають у відбитому світлі через червоне скло (0,63 мкм) і через синє скло (0,4 мкм). Знайти відстань між сусідніми синіми смугами, якщо відстань між сусідніми червоними смугами дорівнює 3 мм.

1. 1.9 см
2. 0.3 см
3. 1.6 мм
4. немає правильної відповіді

2.8. Як зміниться інтенсивність світла у фокусі лінзи, якщо її діаметр збільшити в 2 рази?

1. не зміниться
2. збільшиться в 2 рази
3. збільшиться в 4 рази
4. збільшиться в 8 разів

2.9. Яким чином позначається на дифракційній картині збільшення числа щілин дифракційної ґратки на одиницю довжини:

1. дифракційна картина розмазується
2. дифракційна картина стає більш яскравою
3. число щілин не впливає на вигляд дифракційної картини
4. немає правильної відповіді

2.10. Поява масляних кольорових смуг на калюжах пов'язано з

1. дифракцією
2. інтерференцією
3. дисперсією
4. аберацією

2.11. На що впливає протяжність джерела при інтерференції на 2-х щілинах:

1. на видність (контрастність) інтерференційних смуг тільки в центрі екрана
2. на видність (контрастність) інтерференційних смуг в будь-якій точці екрану
3. на число смуг які спостерігаються
4. на ширину кожної смуги

2.12. На що впливає немонохроматичність джерела при інтерференції на 2-х щілинах:

1. на видність (контрастність) інтерференційних смуг в центрі екрана
2. на число інтерференційних смуг, які спостерігаються
3. на ширину кожної смуги
4. немає правильні відповіді

2.13. При куті Брюстера:

1. заломлений промінь зникає і залишається тільки відбитий
2. заломлені промені повністю поляризовані
3. заломлений і відбитий промені перпендикулярні один одному
4. немає правильної відповіді

2.14. Як зміниться ширина смуг в досліді Юнга, якщо одночасно зменшити в 2 рази відстань між щілинами і збільшити в 2 рази відстань до екрана

1. не зміниться
2. збільшиться в 2 рази
3. збільшиться в 4 рази
4. зменшиться в 4 рази

2.15. Дифракційну картину отримали за допомогою червоного світла. Як зміниться картина, якщо скористатися фіолетовим світлом:

1. смуги будуть розташовані ближче одна до одної
2. смуги будуть розташовані далі одна від одної
3. смуги залишаться на своїх місцях
4. немає правильної відповіді

2.16. У скільки разів найвищий порядок спектра m_1 , який можна спостерігати при нормальному падінні на дифракційну ґратку монохроматичного світла з $\lambda = 400$ нм, більше найвищого порядку m_2 при висвітленні цієї ґратки світлом з довжиною хвилі $\lambda = 600$ нм:

1. в 1,5 рази
2. в 2 рази
3. в 3 рази
4. не зміниться

2.17. При освітленні синусоїдальної амплітудної дифракційної ґратки плоскою монохроматичною хвилею на виході виникають:

1. дві плоскі хвилі
2. дві сферичні хвилі і плоска хвиля
3. кількість хвиль залежить від періоду ґратки
4. немає правильної відповіді

2.18. Плоскоопукла лінза з оптичною силою $D = 2$ дптр опуклою стороною лежить на скляній пластинці. Радіус четвертого темного кільця Ньютона у прохідному світлі дорівнює $0,7$ мм. Визначте довжину світлової хвилі.

1. $\lambda = 490$ нм
2. $\lambda = 555$ нм
3. $\lambda = 465$ нм
4. $\lambda = 620$ нм

2.19. При освітленні дифракційної решітки білим світлом спектри другого і третього порядків частково перекривають один одного. На яку довжину хвилі в спектрі другого порядку накладається фіолетова межа ($\lambda = 0,4$ мкм) спектра третього порядку?

1. $\lambda = 0,6$ мкм
2. $\lambda = 6$ мкм
3. $\lambda = 0,5$ мкм
4. $\lambda = 0,045$ мкм

2.20. На дифракційну решітку, що містить $n = 100$ штрихів на 1 мм, падає нормально монохроматичне світло. Зорова труба спектрометра наведена на максимум третього порядку. Щоб навести трубу на інший максимум того ж порядку, її потрібно повернути на кут $\Delta\varphi = 20^\circ$. Визначте довжину хвилі λ світла.

1. $\lambda = 580$ нм
2. $\lambda = 555$ нм
3. $\lambda = 465$ нм
4. $\lambda = 620$ нм

2.21. Щоб деполаризувати частково монохроматичне світло кругової поляризації, його потрібно

1. пропустити через пластинку $\lambda / 4$
2. пропустити через товстий двопроремезаломлюючий кристал
3. пропустити через поляризатор
4. пропустити через матову платівку

2.22. Інтенсивність природного світла, пропущеного через два поляризатора, зменшилася вдвічі. Як орієнтовані поляризатори?

1. паралельно
2. під кутом 30°
3. під кутом 45°
4. перпендикулярно

2.23. Амплітудна і фазова синусоїдальні дифракційні ґратки однакового періоду освітлюються плоскою монохроматичною хвилею. У чому полягає відмінність в просторовому спектрі випромінювання на виході решіток:

1. фазою
2. кількістю хвиль
3. кутами розповсюдження
4. немає правильної відповіді

2.24. Які хвилі називаються когерентними?

1. якщо вони мають однакову частоту і різницю фаз незалежну від часу
2. якщо вони мають однакову амплітуду
3. якщо вони мають однакову частоту і різницю фаз, що дорівнює нулю
4. якщо вони мають однакову частоту і амплітуду

2.25. У чому полягає дифракція хвиль?

1. накладання хвиль, що приводить до встановлення в кожній точці простору постійної амплітуди коливання;
2. огинання хвилями перешкод, що привидить до відхилення від прямолінійного поширення світла
3. залежність показника заломлення світла від його кольору, яка обумовлює розкладання білого світла на складові
4. розкладання світлових хвиль при проходженні через речовину

2.26. У чому полягає сутність явища інтерференції світла?

1. накладання когерентних хвиль, при якому віддається розподіл результуючих коливань у просторі
2. додавання хвиль будь-якої природи
3. накладання хвиль будь-якої природи
4. розкладання світлових хвиль при проходженні через призму

2.27. Які умови необхідні і достатні для спостереження мінімуму інтерференції електромагнітних хвиль від двох джерел?

1. джерела хвиль когерентні, різниця ходу може бути будь-яка
2. джерела хвиль когерентні, різниця ходу $\Delta d = (2k + 1) \lambda / 2$
3. Різниця ходу $\Delta d = (2k + 1) \lambda / 2$, джерела можуть бути будь-які;
4. немає правильної відповіді

2.28. Які з перерахованих нижче явищ пояснюються інтерференцією світла?

- а) - райдужне забарвлення тонких мильних плівок;
 - б) - кільця Ньютона;
 - в) - поява світлої плями в центрі тіні від малого непрозорого диска;
 - г) - відхилення світлових променів в область геометричної тіні
1. а)
 2. а) і б)
 3. а), б), в) г)
 4. в) і г)

2.29. Які з перерахованих нижче явищ пояснюються дифракцією світла?

- а) - райдужна забарвлення тонких мильних плівок;
 - б) - кільця Ньютона;
 - в) - поява світлої плями в центрі тіні від малого непрозорого диска;
 - г) - відхилення світлових променів в область геометричної тіні?
1. а)
 2. а) і б)
 3. а), б), в), г)

4. в) і г)

2.30. Які перераховані нижче хвилі мають здатність до дифракції?

а) - звукові хвилі; б) - хвилі на поверхні води; в) - радіохвилі; г) - видиме світло?

1. а)

2. а) і б)

3. а), б), в), г)

4. в) і г).

2.31. Який з наведених нижче виразів є умовою спостереження головних максимумів в спектрі дифракційної ґратки з періодом d під кутом φ ?

1. $d \sin \varphi = k \lambda$

2. $d \cos \varphi = k \lambda$

3. $d \sin \varphi = (2k + 1) \lambda / 2$

4. $d \cos \varphi = (2k + 1) \lambda / 2$

2.32. Дифракційна ґратка має ряд паралельних щілин шириною a кожна, щілини розділені непрозорими проміжками шириною b . Якою умовою визначається кут φ до нормалі, під яким спостерігається 1-й дифракційний максимум?

1. $a \sin \varphi = \lambda / 2$

2. $b \sin \varphi = \lambda / 2$

3. $(a + b) \sin \varphi = \lambda / 2$

4. $(a + b) \sin \varphi = \lambda$

2.33. Як змінюється швидкість поширення світла при переході з вакууму в прозоре середовище з абсолютним показником заломлення $n = 2$?

1. збільшиться в два рази

2. залишиться незмінною

3. зменшиться в два рази

4. зміна залежить від кута падіння.

2.34. Які закономірності, з перерахованих нижче явищ, свідчать про хвильову природу світла? а) - мінлива веселка в тонких

плівках; б) - виникнення світлої плями в центрі тіні; в) - звільнення електронів з поверхні металів при освітленні?

1. а)
2. а) і б)
3. а), б) і в);
4. в) і б).

2.35. Чим пояснюється дисперсія білого світла?

1. Колір світла визначається довжиною хвилі.
2. У процесі заломлення довжина світлової хвилі змінюється, тому відбувається перетворення білого світла в різнобарвний спектр.
3. Біле світло – це суміш світла різних частот, колір визначається частотою, коефіцієнт заломлення світла залежить від частоти, тому світло різного кольору поширюється по різних напрямках.
4. Призма поглинає біле світло однієї довжини хвилі, а випромінює світло з різними довжинами хвиль.

2.36. Предмет здається нам білим, якщо він

1. однаково відбиває всі падаючі на нього промені
2. однаково поглинає всі падаючі на його промені
3. однаково поглинає і відображає всі падаючі на його промені
4. немає правильної відповіді

2.37. Які умови необхідні і достатні для спостереження максимуму інтерференції електромагнітних хвиль від двох джерел?

1. джерела хвиль когерентні, різниця ходу може бути будь-якою
2. різниця ходу $\Delta d = k\lambda$, джерела можуть бути будь-які
3. різниця ходу $\Delta d = (2k + 1) \lambda / 2$, джерела можуть бути будь-які
4. джерела хвиль когерентні, різниця ходу $\Delta d = k\lambda$

2.38. За якої умови може спостерігатися інтерференція двох пучків світла з різними довжинами хвиль?

1. при однаковій амплітуді коливань
2. при однаковій початковій фазі коливань
3. при однаковій амплітуді і початковій фазі
4. при постійній різниці ходу

2.39. Граничний кут повного відображення для повітря і скла дорівнює α^0 . Чому дорівнює швидкість світла в цьому сорті скла?

1. c
2. $c \times \sin \alpha^0$
3. $c / \sin \alpha^0$
4. $c \times \cos \alpha^0$

2.40. Який вираз має граничний кут повного відбиття для променя світла, що виходить із середовища з абсолютним показником заломлення n_1 в середовище з абсолютним показником заломлення n_2 ?

1. $\sin \alpha^0 = n_1/n_2$
2. $\sin \alpha^0 = n_2/n_1$
3. $\sin \alpha^0 = 1/n_2$;
4. $\sin \alpha^0 = 1/n_1$.

2.41. Промінь червоного світла (у вакуумі $\lambda = 7,6 \times 10^{-7}$ м) переходить зі скла у невідому рідину. Кут падіння променя дорівнює 30^0 , а кут заломлення - 45^0 . Розрахуйте довжину світлової хвилі в рідині, якщо абсолютний показник заломлення скла для червоного світла дорівнює 1,5.

1. $8,1 \times 10^{-7}$ м
2. $7,2 \times 10^{-7}$ м
3. $5,1 \times 10^{-7}$ м;
4. $7,6 \times 10^{-7}$.

Третій рівень складності

3.1. Два когерентних джерела світла, розташовані на відстані 2 мм один від одного на прямій, паралельній екрану, створюють в точці А екрана дифракційний мінімум (перпендикуляр, відновлений з точки розташування одного джерела, точно потрапляє в точку А екрану). Визначити різницю ходу взаємодіючих хвиль, якщо їх довжина дорівнює $\lambda = 400$ нм.

1. 200 нм
2. 155 нм
3. 572 нм
4. 102 нм

3.2. Два когерентних джерела світла, розташовані на відстані 10 мм один від одного на прямій, паралельній екрану, створюють в точці А екрана дифракційний максимум перпендикуляр, проведений з точки розташування одного джерела, точно потрапляє в точку А екрану). Визначити різницю ходу взаємодіючих хвиль, якщо їх довжина дорівнює $\lambda = 500$ нм.

1. 5000 нм
2. 650 нм
3. 1050 нм
4. 2 нм

3.3. Два когерентних джерела світла, розташовані на відстані 3 мм один від одного на прямій, паралельній екрану, створюють в точці А екрана дифракційний максимум перпендикуляр, відновлений з точки розташування одного джерела, точно потрапляє в точку А екрану). Визначити різниця ходу взаємодіючих хвиль, якщо їх довжина равна $\lambda = 450$ нм.

1. 450 нм
2. 755 нм
3. 106 нм
4. 521 нм

3.4. У дифракції Френеля на диску радіуса $R = 2,3$ мм, розташованому на відстані $L = 10$ м від екрану, в центрі екрану спостерігається дифракційне світла пляма. Скільки зон m беруть участь у формуванні такої картини, якщо на перешкоду падає плоска хвиля $\lambda = 529$ нм.

1. 5
2. 1
3. 2
4. 3

3.5. У дифракції Френеля на диску радіуса $R = 4$ мм, озташованому на расстояні $L = 10$ м від екрану, в центрі екрану спостерігається дифракційне світлепляма. Скільки зон m беруть участь у формуванні такої картини, якщо на перешкода падає плоска хвиля $\lambda = 533$ нм.

1. 5
2. 1
3. 2
4. 3

3.6. У дифракції Френеля на диску радіуса $R = 4,3$ мм, розташованому на відстані $L = 10$ м від екрану, в центрі екрану спостерігається дифракційне світла пляма. Скільки зон m беруть участь у формуванні такої картини, якщо на перешкоду падає плоска хвиля $\lambda = 457$ нм.

1. 5
2. 4
3. 2
4. 3

3.7. У дифракції Френеля на круглому отворі радіуса $R = 4,3$ мм, розташованому на відстані $L = 10$ м від екрану, в центрі екрану спостерігається дифракційне темна пляма. Скільки зон m беруть участь у формуванні такої картини, якщо на перешкоду падає плоска хвиля $\lambda = 457$ нм.

1. 4
2. 1
3. 2
4. 3

3.8. У дифракції Френеля на круглому отворі радіуса $R = 4,3$ мм, розташованому на відстані $L = 10$ м від екрану, в центрі екрану спостерігається дифракційне світла пляма. Скільки зон m беруть участь у формуванні такої картини, якщо на перешкоду падає плоска хвиля $\lambda = 608$ нм.

1. 4
2. 1
3. 2
4. 3

3.9. У дифракції Френеля на щілини шириною $d = 5,5$ мм, розташованій на відстані $L = 10$ м від екрану, в центрі екрану спостерігається дифракційна темна смуга. Скільки зон m беруть

участь у формуванні такої картини, якщо на перешкода падає плоска хвиля $\lambda = 380$ нм.

1. 4
2. 1
3. 2
4. 3

3.10. У дифракції Френеля на щілини шириною $d = 3,8$ мм, розташованій на відстані $L = 10$ м від екрану, в центрі екрану спостерігається дифракційна світла смуга. Скільки зонн беруть участь у формуванні такої картини, якщо на перешкода падає плоска хвиля $\lambda = 380$ нм.

1. 4
2. 1
3. 2
4. 3

3.11. На дифракційну ґратку, період якої дорівнює $1,01$ мм, спрямована монохроматична хвиля. Перший дифракційний максимум отриманий на екрані зміщенням на 3 см від початкового напрямку світла. Визначте довжину хвилі монохроматичного світла, якщо відстань між екраном і ґраткою дорівнює 70 см?

1. $23,6$ мм
2. $43,35$ мм
3. $11,78$ мм
4. немає правильної відповіді

3.12. Пучок білого світла розкладається в спектр за допомогою дифракційної ґратки та призми.

1) У якому з спектрів відхилення променів прямо пропорційне довжині хвилі?

2) У якому з них промені червоного кольору відхиляються менше ніж фіолетові?

- 1) у дифракційному, 2) у дифракційному
- 1) у дифракційному, 2) в призматичному
- 1) в призматичному, 2) в призматичному
- 1) в призматичному, 2) у дифракційному

3.13. Дифракційна ґратка має 50 штрихів на 1 мм довжини. Під яким кутом видно максимум другого порядку світла з довжиною хвилі 400 нм?

1. $\arcsin 0,02$
2. $\arcsin 0,04$
3. $\arcsin 0,002$
4. $\arcsin 0,004$

3.14. На дифракційну ґратку, що має 200 штрихів на 1 мм, падає нормально світло з довжиною хвилі 500 нм. Відстань від ґратки до екрана 1 м. Знайдіть відстань від центрального до першого максимуму.

1. 0,2 м;
2. 0,5 м;
3. 1 м.
4. немає правильної відповіді

3.15. Визначте довжину хвилі для лінії в дифракційному спектрі 3-го порядку, що збігається з лінією спектра 4-го порядку з довжиною хвилі 510 нм.

1. 397,6 нм
2. 680 нм
3. 340 нм
4. 795 нм

3.16. Знайти амплітуду напруженості електричного поля в плоскій лінійно-поляризованої хвилі, якщо щільність потоку енергії дорівнює 1 Вт / м²

1. 27,45 В / м
2. 7,45 В / м
3. 2,5 В / м
4. 0,5 В / м

3.17. Плоска світлова хвиля з довжиною $\lambda = 0,48$ мкм і інтенсивністю I_0 падає нормально на екран з круглим отвором радіуса $R = 0,6$ мм. Знайти інтенсивність в центрі дифракційної картини на відстані $1,5 b = m$ від екрану.

1. $I = 2I_0$
2. $I = I_0$
3. $I = I_0/2$
4. $I = 4I_0$

3.18. Два когерентних джерела червоного світла ($\lambda = 7,5 \times 10^{-7}\text{м}$) S_1 та S_2 освітлюють екран АС. Через точку А на екрані проходить третя (рахуючи від центрального максимуму світла (червона) смуга інтерференційної картини. Розрахуйте різницю ходу променів S_2B .

1. $2,4 \times 10^{-7}\text{м}$
2. $22,5 \times 10^{-7}\text{м}$
3. $7,5 \times 10^{-7}\text{м}$
4. $3,75 \times 10^{-7}\text{м}$

3.19. Два когерентних джерела жовтого світла ($\lambda = 5,7 \times 10^{-7}\text{м}$) освітлюють екран АС. В точку А екрану промені приходять з різницею ходу $2,85 \times 10^{-7}\text{м}$. Яка смуга (темна або світла) інтерференційної картини проходить через точку А?

1. світла
2. темна
3. визначити не можливо
4. немає правильної відповіді

3.20. Знайдіть синус кута повного внутрішнього відбивання при переході світла зі скла в повітря, якщо швидкість світла у склі у 1,5 рази менше, ніж у повітрі.

1. 0,75
2. 0,5
3. 2/3
4. 1/6

3.21. Кут між падаючим і відбитим променями дорівнює 30° . Яким буде кут відбивання, якщо кут падіння збільшиться на 15° ?

1. 150°
2. 300°
3. 450°
4. 0°

3.22. У інтерференційної схемою з біпризмою Френеля (заломлюючий кут $\varepsilon = 20^\circ$, показник заломлення $n = 1,5$) екран і джерело світла ($\lambda = 600$ нм; $\delta\lambda = 20$ нм) знаходяться на однакових відстанях від біпризми. На якій відстані Δx від центру інтерференційної картини інтерференційні смуги розмиваються?

1. 6 мм
2. 5 мм
3. 7 мм
4. 2 мм

3.23. Промінь світла падає під кутом $\pi / 3$ на межу розділу повітря - рідина. Віддзеркалені і заломлені промені перпендикулярні один одному. Знайдіть показник заломлення рідини.

1. 1,5
2. 1,7
3. 2,1
4. 1,73

3.24. Промінь світла падає на поверхню води під кутом 40° . Під яким кутом повинен впасти промінь на поверхню скла, щоб кут заломлення виявився таким, як і в першому випадку? Показник заломлення води 1,33, скла - 1,5.

1. 35°
2. 27°
3. 47°
4. немає правильної відповіді

3.25. У інтерференційної схемою з біпризмою Френеля (заломлюючий кут $\varepsilon = 20^\circ$, показник заломлення $n = 1,5$) екран і джерело світла ($\lambda = 600$ нм; $\delta\lambda = 20$ нм) знаходяться на однакових відстанях від біпризми. Який допустимий розмір D джерела, при якому можна спостерігати всі інтерференційні смуги?

1. $D \leq 0,2$ мм
2. $D \leq 0,1$ мм
3. $D \leq 0,45$ мм
4. $D \leq 0,32$ мм

3.26. У інтерференційної схемою з біпрізмою Френеля (заломлюючий кут $\varepsilon = 20^\circ$, показник заломлення $n = 1,5$) екран і джерело світла ($\lambda = 600$ нм; $\delta\lambda = 20$ нм) знаходяться на однакових відстанях від біпрізми. Оцінити число N інтерференційних смуг на екрані.

1. 60
2. 55
3. 120
4. 40

3.27. Розсіяне монохроматичне світло з довжиною хвилі $0,6$ мкм падає на тонку скляну пластинку з показником заломлення $1,5$. Кутова відстань між сусідніми максимумами, що спостерігаються у відбитому світлі під кутами, близькими до 45° , дорівнює 3° . Визначити товщину пластинки.

1. 15 мкм
2. 12 мкм
3. 25 мкм
4. 33 мкм

3.28. Визначте показник заломлення гліцерину щодо води, якщо абсолютний показник заломлення гліцерину $1,47$, а води - $1,33$.

1. 1,5
2. 1,75
3. 2
4. немає правильної відповіді

3.29. З якою швидкістю поширюється світла в кедровому маслі, показник заломлення якого $1,52$, якщо швидкість поширення світла в повітрі 300000 км/с?

1. $1,52 \times 300000$ км/с
2. $300000/1,52$ км/с
3. 0 км/с;
4. 300000 км / с.

3.30. Світло від когерентних джерел пропускають через червоний світлофільтр. Інтерференційна картина на екрані представляє систему темних і червоних смуг, розташованих симетрично

відносно центральної червоної смуги. Як зміниться ширина інтерференційних смуг на екрані, якщо червоний світлофільтр замінити синім?

1. збільшиться
2. зменшиться
3. не зміниться
4. немає правильної відповіді

3.31. Плоска монохроматична хвиля падає нормально на непрозорий екран з отвором радіуса r , яке відкриває для точки спостереження P першу зону Френеля. Як слід змінити радіус отвори, щоб в точці P спостерігався другий максимум?

1. збільшити до $r = \sqrt{3}$
2. збільшити до $r = 3$
3. збільшити до $r = \sqrt{5}$
4. зменшити до $r = \sqrt{3}$

3.32. Довжина хвилі світла у воді 1,46 мкм. Яка довжина хвилі в повітрі? Показник заломлення води 1,33.

1. 0,61 мкм
2. 0,35 мкм
3. 1,79 мкм
4. немає правильної відповіді

3.33. Швидкість поширення світла в прозорому середовищі 240000 км / с. Визначте абсолютний показник заломлення середовища.

1. 1,25
2. 0,8
3. 2,3
4. немає правильної відповіді

3.34. Показники заломлення щодо повітря для води, алмаза і скла відповідно рівні 1,33; 2,42; 1,5. У яких з цих речовин граничний кут повного відображення при виході в повітря має максимальне значення?

1. у воді

2. у склі
3. у алмазі
4. у всіх трьох речовинах

3.35. Два когерентних джерела природного світла S_1 і S_2 освітлюють екран АС. В точку А екрану промені приходять з різницею ходу $S_2B = 8,4 \times 10^{-7}$ м. Якої довжини хвилі проходить світла смуга через точку А, якщо порядковий номер спектру дорівнює 2?

1. 0,84 мкм
2. 16,8 мкм
3. 8,4 мкм
4. 0,42 мкм

3.36. Світлове випромінювання, частота якого $5,4 \times 10^{14}$ Гц, поширюється в склі зі швидкістю 180 Мм / с. Розрахуйте а) показник заломлення скла; б) довжину хвилі в ньому.

1. а) 0,33, б) 1,67 мкм
2. а) 1,67 б) 0,33 мкм
3. а) 1,67, б) 0,97 мкм
4. а) 0,97, б) 1,67 мкм

3.37. Дві когерентні монохроматичні хвилі перетинаються в одній точці екрану і послаблюють одна одну. Знайдіть мінімальну довжину хвилі світла, якщо їх різниця ходу дорівнює 17,17 мкм.

1. 34,34 мкм
2. 17,177 мкм
3. 8,58 мкм
4. немає правильної відповіді

3.38. Частково поляризоване світло (ступінь поляризації 0,5) пропускають через поляризатор. Як зміниться інтенсивність світла за поляризатором після його повороту на 60° з положення, відповідного максимуму пропускання?

1. зменшиться в 2 рази
2. збільшиться в 2 рази
3. не зміниться
4. збільшиться в 4 рази

3.39. Паралельний пучок монохроматичного світла проходить через два поляризатора, головні площини яких орієнтовані під кутом 20° один до одного. Між поляризаторами поміщають пластинку $\lambda/2$. При якому куті між головним напрямком першого поляризатора і оптичною віссю пластинки світло через систему не проходить?

1. - 35° і 55°
2. - 135° і 155°
3. - 5° і 45°
4. немає правильної відповіді

3.40. Круглий отвір в непрозорому екрані закриває для точки спостереження Р одну зону Френеля. Внутрішню і зовнішню половини (за площею) отвори закривають ідеальними схрещеними поляроїдами, що мають форму диска і кільця відповідно. отвір висвітлюється поляризованим по колу світлом з інтенсивністю I_0 . Визначити інтенсивність І світла в точці Р.

1. $I = 2I_0$
2. $I = I_0$
3. $I = I_0/2$
4. $I = 4I_0$

3.41. Паралельний пучок неполяризованого монохроматичного світла падає на пластинку $\lambda/2$. Інтенсивність світла в деякій точці спостереження Р за платівкою дорівнює I_0 . Знайти інтенсивність І світла в точці Р, якщо частина пластинки у вигляді диска, який закриває для точки Р півтори зони Френеля, повернути навколо осі пучка на кут 90° .

1. $I = 5I_0$
2. $I = I_0$
3. $I = I_0/2$
4. $I = 4I_0$

Список літератури

1. Ландсберг Г.С. Общий курс физики: оптика. Учебн. пособие: для вузов. – 6-е изд. стереот. – М: ФИЗМАЛИТ, 2003. – 848 с.
2. Романюк М.О. Оптика : підручник / М.О.Романюк, А.С.Крочук, І.П.Пашук; за ред. проф. М.О.Романюка. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка. 2012. – 564 с.
3. Бегунов Б.Н. Геометрическая оптика : 2 изд., переработ. / Б.Н. Бегунов. – М.: МГУ – 1966. – 212 с.
4. Можаров, Г.А. Основы геометрической оптики / Г.А. Можаров. – М.: Издательский дом ЛОГОС, 2006. – 280 с.
5. Кучерук І.М., Горбачук І.Т. Загальний курс фізики. - У 3 т. - Т. 3. Оптика. Квантова фізика: Навч. посіб. - К.: Техніка, 2006. -518с.
6. Методичні вказівки до лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Геометрична оптика». – Чернівці : ЧНУ – 36 с.
7. Физический практикум. Электричество и оптика. Под ред. В.И. Ивероновой. – М.: Наука. 1968.
8. Бегунов, Б.Н., Заказнов, Н.П. Теория оптических систем : учебн. пособие: для вузов / Бегунов, Б.Н. [и др.]. - М.: Машиностроение, 1984. – 488 с.
9. Гаркуша І.П., Горбачук І.Т., Курінний І.М. Загальний курс фізики. Збірник задач. - К: Техніка. – 2004.- 560 с.
10. Е.И.Бутиков. Оптика. – М.:Высшая школа, 1986.
11. Зоммерфельд А. Оптика: пер. с нем. / А. Зоммерфельд. - М.: ИИЛ, 1953. - 486 с.
12. Иродов И.Е. Сборник задач по общей физике. Учебное пособие для ВУЗов / И.Е. Иродов. – 3-е изд. – М : Лань, 2012. – 432 с.
13. Чертов А.Г., Воробьёв А.А. Задачник по физике: Учеб. Пособие / А.Г. Чертов, А.А. Воробьёв. — 4-е изд., перераб. и доп.— М.: Высш. школа, 1988. — 527 с, ил.
14. Гольдфарб Н.И. Сборник вопросов и задач по физике / Н.И. Гольдфарб. – 5-е изд. — М.: Высшая школа, 1982. — 351 с.

15. Акинъшин В.С. Оптика. Учебное пособие / Акинъшин В.С., Истомина Н. Л., Каленова Н.В. – СПб.: Лань, 2015.- 240 с.
16. А.Н. Матвеев. Оптика / А.Н. Матвеев. – М.: Высшая школа, 2005. – 351 с.
17. В.М.Калитиевский. Волновая оптика / В.М.Калитиевский. – М.:Наука, 2001. – 383 с.
18. М. Борн. Основы оптики / Борн М., Вольф Э. – М.: Наука, 1970. – 855 с.
19. А. Джерард. Введение в матричную оптику / А. Джерард, Дж. М. Берч. – М.: Мир, 1978. – 342 с.